

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

KAUPALLISTEN TUOTTEIDEN KÄYTTÖ TAISTELUKENTÄN VALVONTAJÄRJESTELMINÄ

Tutkielma

Kapteeni
Mika Kärämä

EUK 63
Maasotalinja

Huhtikuu 2010

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Esiupseerikurssi 63	Linja Maasotalinja
Tekijä Kapteeni Mika Kärsämä	
Tutkielman nimi KAUPALLISTEN TUOTTEIDEN KÄYTTÖ TAISTELUKENTÄN VALVONTA-JÄRJESTELMINÄ	
Oppiaine johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka Kurssikirjasto (MPKK:n kirjasto)
Aika Huhtikuu 2011	Tekstisivuja 42 Liitesivuja 0
TIIVISTELMÄ <p>Tämän tutkimuksen tutkimusongelmana on selvittää, onko kaupallisesti hankittava valvontavälineistö otettavissa sotilaskäyttöön taistelukentän valvontajärjestelminä ja onko sillä korvattavissa ihminen taistelukentän valvojana. Tutkimus rajataan koskemaan laitteistoa, joka on tarkoitettu käytettäväksi ulkoilmaolosuhteissa ja jonka voidaan olettaa hintaluokansa ja saatavuutensa perusteella olevan yksittäisen kuluttajan hankittavissa.</p> <p>Suomen sodanajan joukkojen määrää vähennetään pitkällä aikavälillä ja jalkaväkimiinoista luovutaan vuoteen 2016 mennessä. Yhdessä nämä tekijät saattavat heikentää joukkojemme suorituskykyä pysäyttää mahdollinen maahamme hyökkäävä vihollinen.</p> <p>Valtioneuvoston puolustuspoliittisen selonteon mukaan joukkojen maavalvonta- ja pimeätoimintakykyä tehostetaan ja osa jalkaväkimiinojen mukana menetetystä suorituskyvystä kyetään korvaamaan mm. valvontavälineillä. Osa tätä aktiivisuutta saattaisi olla kyky selvittää vihollisen aikomukset ja reagoida niihin selvästi ennen kosketukseen joutumista esimerkiksi etukäteen saaduilla valvonta- ja tiedustelutiedoilla.</p> <p>Nykyään on saatavilla useita erilaisia turvallisuus- ja valvontakäyttöön tarkoitettuja järjestelmiä, jotka perustuvat muutamiin erilaisiin teknisiin perusratkaisuihin. Järjestelmät on tarkoitettu yleensä yritystilojen tai yksityisten asuntojen ja kesämökkien valvontaan. Kaikkia näitä järjestelmiä kuitenkin yhdistää vähintään yksi asia; ne on suunniteltu havaitsemaan ihmisiä sekä heidän toimintaansa ja näin ollen lähtökohtaisesti voisivat olla käytettävissä taistelukentällä ainakin omien tai vihollissotilaiden valvontaan.</p> <p>Tutkimus tehdään tutustumalla erilaisten kaupallisten valvontajärjestelmien, elektronisten laitteiden sekä elektroniikan komponenttien julkisesti saatavilla oleviin teknisiin tietoihin.</p>	

Pääteltäessä laitteiden hyödynnettävyyttä sotilaskäytössä niiden ilmoitettuja suorituskkykyjä ja teknisiä ominaisuuksia verrataan suomalaisten joukkojen käyttö- ja toimintaperiaatteista johtuviin tarpeisiin sekä näitä kuvaaviin oppaisiin ja ohjesääntöihin. Arvioitaessa laitteiden käytettävyyttä taistelukentän olosuhteissa niiden teknisiä ominaisuuksia verrataan suomalaisiin ympäristöolosuhteisiin ja tiedossa oleviin muuttujiin taistelutilanteessa.

Tutkimusasetelma on poikkileikkausaineisto; Tutkimukseen liittyvä arviointi tapahtuu kerran ja tarkasteltavana on useita kaupallisia tuotteita.

Havaintoja elävistä, lämpimistä ja liikkuvista olennoista saadaan infrapuna-, värinä- ja äänisensoreilla. Metallia sisältävistä tai mukanaan kantavista kohteista saadaan havaintoja magneettisensoreilla. Näiden lisäksi polttomoottorimoottoriajoneuvoista saadaan havaintoja savuhälyttimillä. Kaikkia taistelukentällä esiintyviä kohteita voidaan kuvata näkyvän valon kameroilla suotuisissa valaistus- ja sääolosuhteissa tai lämpökameroilla kaikissa olosuhteissa.

Lähtökohtaisesti taistelukentällä käytettävän valvontalaitteen tulisi olla maastoutettavissa heikosti havaittavaksi eikä se toiminnallaan saisi paljastaa sijaintiaan. Vaikka kamerat ja infrapunatunnistimet ovatkin toimintaperiaatteiltaan passiivisia sensoreita, niiden käyttö edellyttää kuitenkin näköyhteyttä tarkkailemiinsa kohteisiin. Sen lisäksi, että ääni-, magneetti-, värinä- ja (pako)kaasutunnistimet ovat myös passiivisia sensoreita, ne voidaan myös sijoittaa siten, että niiden läsnäolo on käytännössä mahdotonta havaita ilman aikaa vieviä etsintöjä. Huomioitavaa kuitenkin on, etteivät kaikki sotilasjoukoille annettavat tehtävät edellytä vartiointi- ja valvontatoiminnan salaamista.

Mikäli sensorilta halutaan ilmaisu havainnosta reaaliaikaisena, tämä edellyttää sensoreihin liitettyjä viestin välitykseen soveltuvia kokonaisuuksia, esimerkiksi radiolähettämiä. Havaintoa välittävä radiosignaali on tällaisissa sensoreissa kuitenkin vihollisen helpoiten havaittavissa ja häiritävissä oleva kokonaisuus.

Johtopäätöksenä todetaan, että tarkastellut kaupalliset valvontalaitteet ja tekniikat ovat hyödynnettävissä taistelukentän olosuhteissa ja tuotteista löytyy suomalaisissa ulkoilmaolosuhteissa käytettäviä, jopa edullisia laitteita. Haasteena näiden laitteiden, kuten kaikkien muidenkin sähkötekniisten laitteiden sotilaskäytössä on virtalähdehuollon järjestäminen. Kokonaisissa valvontajärjestelmissä useita eri tekniikoita hyödyntäviä sensoreita tulisi yhdistää yhdeksi kokonaisuudeksi, jolloin vähemmän virtaa kuluttavien sensoreiden saamaa havaintoa käytettäisiin muiden, tarkempaa tietoa tuottavien, mutta enemmän virtaa kulutta-

vien sensoreiden herättämiseksi. Käyttäjälle välitettävän tiedon perusteella herätteen aiheuttaja tulisi olla tunnistettavissa ja luokiteltavissa.

Valvonta- ja vartiointitehtävää suorittava ihminen on korvattavissa useissa eri tapauksissa kaupallisella teknologialla ja joissain tehtävissä tämä lisäisi esimerkiksi ryhmän kokoisen osaston valvontakykyä kasvattamalla valvottavaa aluetta ja keskittämällä vartiointi useammalta toisistaan erillään olevilta alueilta valvontakeskuksiin, joka esimerkiksi parantaa valvontahenkilöstön vireystilaa.

AVAINSANAT

Kaupallinen, sensori, valvonta, tiedustelu, järjestelmä

KAUPALLISTEN TUOTTEIDEN KÄYTTÖ TAISTELUKENTÄN VALVONTAJÄRJESTELMINÄ

Sisältö

1.	JOHDANTO	1
1.1.	Tutkimusasetelma ja rajaukset	2
1.2.	Tärkeimmät käsitteet ja määritelmät	3
1.3.	Tutkimusmenetelmät	5
1.4.	Tärkeimmät lähteet ja lähdekritiikki	5
2.	TAISTELUKENTTÄ JA SEN VALVONTA	6
2.1.	Järjestelmillä valvottavat kohteet	6
2.2.	Toimintaympäristö ja taistelukentällä vallitsevat olosuhteet	6
2.3.	Valvottavan kohteen havainnointikyky ja valvontalaitteen havaittavuus	13
2.4.	Taistelukentän valvontaan sotilaskäytössä olevia järjestelmiä	14
2.5.	Yhdistelmä	17
3.	KAUPALLISET VALVONTATUOTTEET	20
3.1.	Kameravalvontajärjestelmät ja valvontakamerat	20
3.2.	Riistakamerat	25
3.3.	Passiiviset infrapunatunnistimet (liiketunnistimet)	27
3.4.	Muihin herätteisiin reagoivia sensoreita	29
3.5.	Sensoreiden tiedonsiirtomenetelmät	33
3.6.	Yhdistelmä	35
4.	MAHDOLLISET KÄYTTÖSOVELLUKSET	39
4.1.	Kulunvalvontapisteelle	39
4.2.	Vartiopaikoille	40
4.3.	Tähystyspaikalle ja liikenteen laskentaan	41
4.4.	Tiedustelijaksi	41

KAUPALLISTEN TUOTTEIDEN KÄYTTÖ TAISTELUKENTÄN VALVONTAJÄRJESTELMINÄ

1. JOHDANTO

Valtioneuvoston puolustuspoliittisen selonteon 2009 mukaan Suomen sodanajan joukkojen määrää vähennetään pitkällä aikavälillä. Samalla, jo vuoden 2004 selonteon mukaisesti, jalkaväkimiinoista luovutaan vuoteen 2016 mennessä.[83] Yhdessä nämä tekijät saattavat heikentää joukkojemme suorituskyyä pysäyttää mahdollinen maahamme hyökkäävä vihollinen.

Alueellisten joukkojen organisaatioista muodostetaan entistä joustavampia ja niiden käyttö- ja toimintaperiaatteita kehitetään aktiivisemmiksi puolustustaistelussa [83]. Osa tätä aktiivisuutta saattaisi olla kyky selvittää vihollisen aikomukset ja reagoida niihin selvästi ennen kosketukseen joutumista esimerkiksi etukäteen saaduilla valvonta- ja tiedustelutiedoilla. Selonteko lupaakin, että joukkojen maavalvonta- ja pimeätoimintakykyä tehostetaan ja osa jalkaväkimiinojen mukana menetetyistä suorituskyyvystä kyetään korvaamaan mm valvontavälineillä [83].

Puolustusmateriaalin hinnan on arvioitu kaksinkertaistuvan seitsemässä vuodessa [83]. Tämä tarkoittaisi laskennallisesti yli 10 % hinnan nousua vuosittain. Kaupallisen tekniikan hinta sitä vastoin ei ole noussut, vaan laskenut. Vuosien 2005 – 2010 aikana suomalaisten kuluttajien ostamien, tämän tutkielman aihepiiriin sisältyvän tekniikan (kuvaustekniikka, kodin tietotekniikka ja matkapuhelintekniikka) hinta on *laskenut* 5 – 23 % [48] kun samaan aikaan kyseisten laitteiden suorituskyyvyt ovat nousseet selvästi nopeammin. Nämä tekijät antavat aihetta tutkia kaupallisen teknologian ja kaupallisten tuotteiden käytettävyyttä taistelukentällä.

Nykyään on saatavilla useita erilaisia turvallisuus- ja valvontakäyttöön tarkoitettuja järjestelmiä, jotka perustuvat muutamiin erilaisiin teknisiin perusratkaisuihin. Järjestelmät on tarkoitettu yleensä yritystilojen tai yksityisten asuntojen ja kesämökkien valvontaan. Yritystilojen valvonta tapahtuu joko paikan päällä olevista valvomoista tai yksityisomaisuuden valvonnan tapaan etäkäyttöisinä, esimerkiksi internetin tai GSM-verkon välityksellä. Kaikkia näitä järjestelmiä kuitenkin yhdistää vähintään yksi asia; ne on suunniteltu havaitsemaan ihmisiä (”roistoja”) sekä heidän toimintaansa ja näin ollen lähtökohtaisesti voisivat olla käytettävissä taistelukentällä ainakin omien tai vihollisotilaiden valvontaan. Järjestelmiä ei kuitenkaan ole suojattu elektronisen sodankäynnin keinoilta, mutta kaikki sotilasjoukoille annettavat tehtävät eivät edellytä elektronisen vaikuttamisen kyvyillä varustettua vihollista vastaan toimimista [72].

Vuoden 2009 selonteon mukaan puolustusvoimille pyritään pääsääntöisesti hankkimaan materiaalia, joka on jo testattua ja käytössä. Tämä pätee erityisesti ulkomailta hankittavaan materiaaliin [83]. Kaupallisen materiaalin myyntiin saamista edeltää lähes aina ainakin valmistajan itsensä tekemät kokeet jo tuotekehittelyvaiheessa sekä usein myös jonkinlaisen laatuluokituksen saamisen edellyttämät käyttökokeet. Ainakin länsimaisen kaupallisen toiminnan elinehto on, että tuotteella on kysyntää. Näin ollen tuote ei kauaa säily myynnissä ellei sitä osteta ja käytetä. Kaupallisen materiaalin hankinta puoltasi paikkaansa tässäkin suhteessa

Maanpuolustuskorkeakoululla ennen tätä tutkimusta vastaavaa aihetta sivuaa kapteeni Petri Majurin tutkimustyö aiheesta ”Sensorien käyttö taistelukentän valvonnassa” vuodelta 2009 sekä muutama tutkimus ja yksi tekniikan laitoksen julkaisu vuosilta 2000 – 2004 kaupallisten tuotteiden hyödyntämisestä viestikäyttöön¹.

Tutkimusraportissa viittaukset lähdemateriaaliin on esitetty numerona hakasulkumerkkien sisällä (esim [12]). Täsmennys tai selite käsiteltävään asiaan tai termiin on esitetty alaviittauksena sivun alareunassa.

1.1. Tutkimusasetelma ja rajaukset

Tämän tutkimuksen tutkimusongelmana on selvittää, onko kaupallisesti hankittava valvontavälineistö otettavissa sotilaskäyttöön taistelukentän valvontajärjestelminä suoraan tai vähäisin muutoksin ja onko sillä korvattavissa ihminen taistelukentän ”valvontalaitteena”. Tutkimusongelmaa tukevat alakysymykset ovat:

¹ Kapteeni Veljo Raide tutkielma E3690. ”Kaupalliset järjestelmät sotilasviestiverkoissa”. EUK 57. Helsinki. Maanpuolustuskorkeakoulu, 2004, Kadetti Antti Turusen tutkielma SK410 ”Kaupallisen tekniikan / infran hyödyntäminen asutuskeskustaistelussa”. 89. KADK. Helsinki. 2004 sekä MPKK:n Tekniikanlaitoksen julkaisusarja 3. ” Kaupallisten (COTS-) tuotteiden hyödyntämismahdollisuudet puolustusvoimien taktisissa viestijärjestelmissä”. Helsinki. Maanpuolustuskorkeakoulu, 2000.

- Mitä ovat taistelukentän valvontajärjestelmällä valvottavat kohteet ja mitkä ja kuinka suuret ovat niiden aiheuttamat herätteet?
- Kestääkö kaupallinen teknologia rikkoutumatta ja toimintakuntoisena taistelukentän olosuhteissa?
- Kuinka järjestelmällä voidaan välittää saatu havainto käyttäjälle? Mikä on välittämiin liittyvä maksimietäisyys? Minkälaisella viiveellä saadut havainnot ovat välitettävissä?
- Kuinka ja minkälaisiin tarkoituksiin kutakin järjestelmää voitaisiin sotilaskäytössä käyttää?

Tutkimus rajataan koskemaan laitteistoa, joka on tarkoitettu käytettäväksi ulkoilmaolosuhteissa ja jonka voidaan olettaa hintaluokkansa ja saatavuutensa perusteella olevan yksittäisen kulluttajan hankittavissa. Lisäksi laitteiston tulee olla koottavissa toimintavalmiiksi yhden jääkäriryhmän (yhteensä 7 henkilöä) voimin ja sen tulee olla käytön aikana valvottavissa (”päivytettävissä”) enintään kahden henkilön voimin. Järjestelmän liikuteltavuutta ja siirrettävyyttä koskien tutkimus rajataan laitteistoon, joka voidaan kokonsa ja painonsa puolesta kuljettaa kaikkine apu- ja osajärjestelmineen pidempiä matkoja siirryttäessä yhdessä henkilö- tai pakettiautossa tai lyhyitä matkoja siirryttäessä maastossa ryhmän kantamana esimerkiksi rinkoissa tai muissa kantolaitteissa. Käyttökuntoon laitettuna laitteiston sensoreiden ja niihin mahdollisesti liittyvän alustan tulee olla kokonsa ja toimintansa puolesta huomaamattomia esimerkiksi lähes äänettämiä sekä hyvin pienikokoisia tai muuten helposti maastoutettavissa.

1.2. Tärkeimmät käsitteet ja määritelmät

Kaupalliset tuotteet tarkoittavat tässä tutkimuksessa pääsääntöisesti valvontakäyttöön tarkoitettuja elektronisia järjestelmiä, jotka ovat yksityishenkilön tai yrityksen ostettavissa kaupasta tai internetin välityksellä, asennettavissa ja käytettävissä.

Taistelukenttä tässä yhteydessä tarkoittaa suomalaisia maasto- tai kaupunkialueita suomalaisissa sääolosuhteissa, joissa sotilasjoukot mahdollisesti toimivat. **Taistelukentän olosuhteilla** tarkoitetaan alueella vallitsevien sääolosuhteiden lisäksi myös siellä ilmeneviä, joukkojen liikkeestä ja taisteluiden seurauksista johtuvia toissijaisia vaikutuksia kuten savu, pöly, melu, tärinä, tulipalot. Taistelukentällä ei ainoastaan tarkoiteta sodan ajan olosuhteita, vaan myös puolustusvoimien rauhan ajan tehtävien toimintaympäristöä.

Valvontajärjestelmä tarkoittaa sähkötekniikkaan perustuvaa useasta eri laitteesta koostuvaa laitteistoa, jolla hankitaan ja välitetään havaintoja jostain tapahtumasta tilannetta valvovalle käyttäjälle, joka yleensä on kaukana varsinaisista havaintoja tekevistä antureista.

Valvontaa on ”suunnitelmallinen havaintojen tekeminen ja ilmoittaminen vastuu- tai toiminta-alueella tapahtuvasta toiminnasta sekä tapahtumien jatkuva seuraaminen. Valvonta jakaantuu maa-, meri-, ilmavalvontaan ja niihin liittyvään säteilynvalvontaan sekä turvallisuusvalvontaan. Valvontaan kuuluvat myös ne välttämättömät toimet, joihin havaintojen johdosta ryhdytään” [81]. Tässä tutkimuksessa valvonnalla tarkoitetaan ainoastaan maalla toimivien joukkojen suorittamaa valvontaa, jonka tarkoituksena suunnitelmallisesti saada tietoja tietyllä alueella tapahtuvasta toiminnasta. Myös toimenpiteet, joihin havaintojen johdosta ryhdyttiin, suljetaan tarkastelun ulkopuolelle.

Tiedustelu on omaan suunnitteluun ja toimintaan vaikuttavien seikkojen erityisesti vihollista ja maastoa koskevien tietojen hankkimista, kokoamista, tulkintaa, arviointia ja tarvitsijoille toimittamista [81].

Anturi, aistin tai **sensori** on mittalaitteen osa, jonka reagoitua ympäristön kanssa, esimerkiksi sähkönjohtavuuden muutosta, käytetään avuksi fyysisten suureiden mittaamiseen tai kemiallisia yhdisteiden tunnistamiseen. Anturissa itsessään ei ole yleensä ole näyttöä tai osoitinlaitetta, vaan anturi välittää mittauksen tiedon eteenpäin mittarille tai automaatiojärjestelmälle. [15]. **Passiivinen sensori** tarkoittaa sensoria jonka hankkii havaintoja perustuen ainoastaan kohteen lähettämiin herätteisiin ja joka ei itse lähetä mitään aistittavaa tai mitattavaa signaalia kohteen havaitsemista varten.

Käytettävyys tässä tutkimuksessa tarkoittaa samaa, kuin se ymmärretään tuotantoympäristöissä eli kuinka suuren osan ajasta laite on käytettävissä toimintakuntoisena eikä esimerkiksi hyödyttömänä tai toimintakyvyttömänä ulkoisten olosuhteiden takia. Termiä ”käytettävyys” verrataan tässä englannin kielen sanaan ”availability” kuvattaessa suorituskyvyn ominaisuuksia. Tässä tutkimuksessa termillä ”käytettävyys” ei siis viitata siihen kuinka helppokäyttöinen tai käyttäjäystävällinen laite on.

UAV (Lyhenne sanoista Unmanned Aerial Vehicle) on ”ilmassa liikkuva voimanlähteellä varustettu laite, joka ei kuljeta mukanaan ohjaajaa ja joka hyödyntää aerodynaamisia voimia tarvittavan nosteen aikaan saamiseksi, pystyy lentämään itsenäisesti tai ihmisen kauko-ohjaamana, voi olla kertakäyttöinen tai uudelleen käytettävissä, voi kantaa mukanaan aseistusta tai muuta (ei-tappavaa) hyötykuormaa. Ballistiset tai puoliballistiset ohjukset, risteilyohjukset tai tykistön ammukset eivät ole miehittämättömiä ilma-aluksia” [85]. Käsité on laajentunut 2000-luvun alusta alkaen **UAS**:ksi (Unmanned Aircraft System, Unmanned Aerial System tai Unmanned Air System), joka käsitteenä sisältää UAV:n lisäksi kaikki niiden ohjaamiseen tarvittavat järjestelmät ja osatekijät kuten ohjaajat ja maaohjausasemat.

1.3. Tutkimusmenetelmät

Tutkimus tehdään tutustumalla erilaisten kaupallisten valvontajärjestelmien, elektronisten laitteiden sekä elektroniikan komponenttien julkisesti saatavilla oleviin teknisiin tietoihin. Päättellessä laitteiden hyödynnettävyyttä sotilaskäytössä niiden ilmoitettuja suorituskkyjä ja teknisiä ominaisuuksia verrataan suomalaisten joukkojen käyttö- ja toimintaperiaatteista johtuviin tarpeisiin sekä näitä kuvaaviin oppaisiin ja ohjesääntöihin. Arvioitaessa laitteiden käytettävyyttä taistelukentän olosuhteissa, niiden teknisiä ominaisuuksia verrataan suomalaisiin ympäristöolosuhteisiin ja tiedossa oleviin erikoisolosuhteisiin taistelukentällä.

Tutkimusasetelma on poikkileikkausaineisto; Tutkimukseen liittyvä tiedonhankinta ja sen arviointi tapahtuu kerran ja käsiteltävänä on useita kaupallisia tuotteita.

1.4. Tärkeimmät lähteet ja lähdekritiikki

Puolustusvoimien **ohjesääntöjä ja oppaita** käytetään tässä tutkimuksessa määrittelemään miten joku tietynlainen joukko toimii erilaisissa tehtävissä ja mihin sen tulee pystyä. Vaikka ohjesääntöjä ja oppaita lähteinä voidaan kritisoida niiden epätieteellisen laatimisprosessin vuoksi, ne täyttävät tässä tutkimuksessa käytetyssä tarkoituksessa tehtävänsä. Puolustusvoimien ohjesäännöt ja oppaat on laadittu nimenomaan kertomaan, miten siinä käsitellyn joukon tulee tehdä sille annetut tehtävät. Puolustusvoimien joukkojen koulutus perustuu ohjesääntöihin ja oppaisiin eli joukot koulutetaan toimimaan ohjesäännöissä kuvatulla tavalla.

Osa hankituista tiedoista perustuu **kaupallisiin tiedotteisiin** (mainoksiin) ja osa valmistajan laatimiin teknisiin tietolehtiin ("specifications sheet"). Mainoksista ja valmistajan ilmoittamista tiedoista laitteiden ilmoitettuihin suorituskkyihin ("myyntivaltteihin") suhtaudutaan varauksella (suuruusluokka) ja niitä mainitaankin vain esimerkinomaisesti. Ilmoitetut teknikat ja tekniset ominaisuudet, joille laitteiden toiminta on ilmoitettu perustuvan, käytetään sellaisenaan.²

Tutkitut **kirjat ja lehtiartikkelit** kuvaavat yleensä aiheeseen liittyviä sotilaskäytössä olevien tai siihen kehitettävien sensorijärjestelmien nyky- tai tavoitetiloija sekä erilaisten teknisten ratkaisujen toimintaperiaatteita ja yleisiä suorituskkyjä. Lähteinä käytetty kirjallisuus on luonteeltaan "oppikirjoja" sekä muuta tietokirjallisuutta, joiden sisältämää tietoa käytetään sellaisenaan. Mikäli lehtiartikkeli vertailee useamman tuotteen suorituskkyjä ja siinä ilmoitetaan, että tuotteita on vertailtu keskenään ja kuvataan testausolosuhteet, annettuja tietoja käytetään.

² Laitteen **suorituskky** on asia, johon laite ilmoituksen mukaan pystyy ja on aina olosuhteisiin sidonnainen. Yleensä nämä asiat ilmoitetaan tutkituissa järjestelmissä metreinä tai tunteina ja minuutteina (esim. havainnointietäisyys, tiedonvälitysjärjestelmän kantama vasta-asemaan, akun kesto aika jne.). **Tekniikka**, johon laitteen toiminta perustuu, on suoraan laitteesta, sen rakenteesta ja/tai tuotoksesta todennettavissa olevia asioita kuten laitteen paino, infrapuna-antureiden lukumäärä, kuvakennon resoluutio, lähettimen teho ja taajuusalue.

tetään sellaisenaan. Mikäli artikkeli käsittelee vain yhtä tuotetta tai järjestelmää, sitä käsitellään kuten kaupallista tiedotetta (katso yllä).

2. TAISTELUKENTTÄ JA SEN VALVONTA

2.1. Järjestelmillä valvottavat kohteet

Taistelukentällä valvottavat kohteet ovat pääosin vihollisten, mutta joissakin tapauksissa myös omien joukkojen henkilöstö ja ajoneuvot. Tiedustelulla ja valvonnalla näistä kohteista halutaan selvittää niiden läsnäolo, sijainti, lukumäärä, liikesuunta, liikkeen nopeus ja toiminta. Tätä tietoa käytetään pääteltäessä vihollisen toimenpiteitä ja arvioitaessa sen aikomuksia tulevaisuudessa.

Valvottavat kohteet heijastavat näkyvää valoa sekä heijastavat että emittoivat infrapunavaloa (eli ne ”näkyvät” visuaalisen valon ja lämpösäteilyn alueilla). Tämän lisäksi niiden liikkeessa ja moottoreiden käydessä syntyy ääniä, ajoneuvojen ja metallivarusteiden läsnäolo aiheuttaa muutoksia magneettikentässä sekä kohteiden liikkeessa syntyy aistittavaa maan pinnan tärinää. Tämän lisäksi omien joukkojen tunnistamiseen ja seurantaan voidaan käyttää myös pienikokoisiin, mukana kuljetettaviin ja heikkotehoista radiotaajuuksista signaalia lähettäviin lähettämiin perustuvia järjestelmiä, kuten RFID-tunnisteita.

2.2. Toimintaympäristö ja taistelukentällä vallitsevat olosuhteet

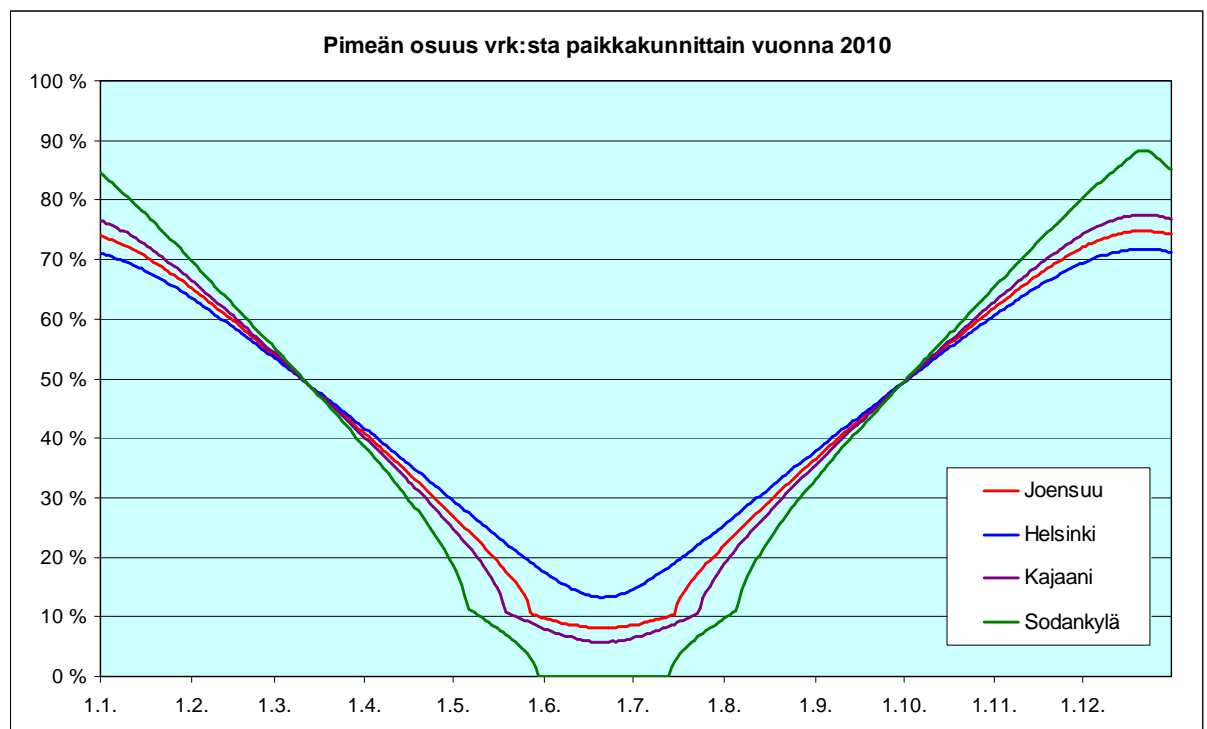
Vuorokauden ja vuoden ajankohdasta johtuva hämärä ja pimeys

Pimeys rajoittaa näkyvän valon aallonpituusalueilla tapahtuvaa tähystämistä samalla tavalla paljain silmin, kuin tähystyslaitteillakin. Hämärä voidaan jakaa auringon keskipisteen sijainnin mukaan kolmeen vaiheeseen; porvarilliseen eli yhteiskunnalliseen hämäärään, nauttiseen eli merenkulkijan hämäärään ja astronomiseen eli tähtitieteelliseen hämäärään. Porvarillisen hämärän aikana aurinko sijaitsee 0 - 6° horisontin alapuolella ja sen aikana selkeällä säällä ulkona näkee työskennellä ilman lisävaloa. Nauttisen hämärän aikana aurinko sijaitsee 6 - 12° horisontin alapuolella ja tähtiä on jo runsaasti näkyvissä, mutta ainakin vielä merellä horisontti erottuu. Astronomisen hämärän aikana aurinko on 12 - 18° horisontin alapuolella ja himmeimmätkin tähdet alkavat näkyä. Käytännössä astronomisen hämärän aikana maanpinnalla on jo täysin pimeää. Pimeys alkaa virallisesti, kun aurinko on yli 18° horisontin alapuolella eikä auringon valoa siroa enää ollenkaan ilmakehän molekyyleistä.[33] Tässä tarkastelussa termillä **hämärä** viitataan ajanjaksoon, jolloin aurinko on horisontin alapuolella, mutta ulkona näkee tähystää ja työskennellä ilman lisävaloa eli porvarilliseen hämäärään ja pimeydellä ajankohtaan, jolloin ulkona ei enää näe tähystää tai työskennellä ilman lisävaloa.

Keskimäärin koko maassa kevätkuukausina (maalis-, huhti- ja toukokuussa)[21] valoisaa on reilut 15 h/vrk, hämärää reilu 1 h/vrk ja pimeää vajaa 8 h/vrk. Kesäkuukausina (kesä-, heinä- ja elokuu) valoisaa on vajaa 19 h/vrk, hämärää reilu 1 h/vrk ja pimeää vajaa 4 h/vrk. Syyskuukausina (syys-, loka- ja marraskuu) valoisaa on vajaa 10 h/vrk, hämärää alle 1 h/vrk ja pimeää jo yli 13 h/vrk. Talvikuukausina (joulu-, tammi- ja helmikuu) valoisaa on enää 6 h/vrk, hämärää reilu 1 h/vrk ja pimeää jopa vajaa 17 h/vrk.[53]

Alla oleva kaavio kuvaa pimeän osuutta vuorokaudesta vuoden 2010 auringon nousu- ja laskeaikojen mukaan tarkasteltuna eri paikkakunnilla. Tarkastelussa Helsinki edustaa Etelä-Suomea, Joensuu Itä-Suomea, Kajaani Pohjois-Suomea ja Sodankylä Lappia. Muu osa vuorokaudesta on joko valoisaa (aurinko on horisontin yläpuolella) tai hämärää, jolloin ulkona näkee työskennellä ilman valoja. Kaaviota luetaan siten, että vaaka-asteikolta valitaan tarkasteltava ajankohta ja kaupunkia vastaavan värillisen viivan kohdalta pystyasteikosta nähdään paikkakunnan pimeän ajan osuus koko vuorokaudesta.

Pimeän ajan keskimääräinen osuus vuorokaudesta koko vuoden keskiarvona tarkasteltuna on paikkakunnasta riippuen 42 % (Sodankylä) – 44 % (Helsinki).



Kuva 1: Kaavio kuvaa pimeän ajan osuutta vuorokaudesta tarkasteltuna neljän esimerkkipaikkakunnan suhteen vuonna 2010.

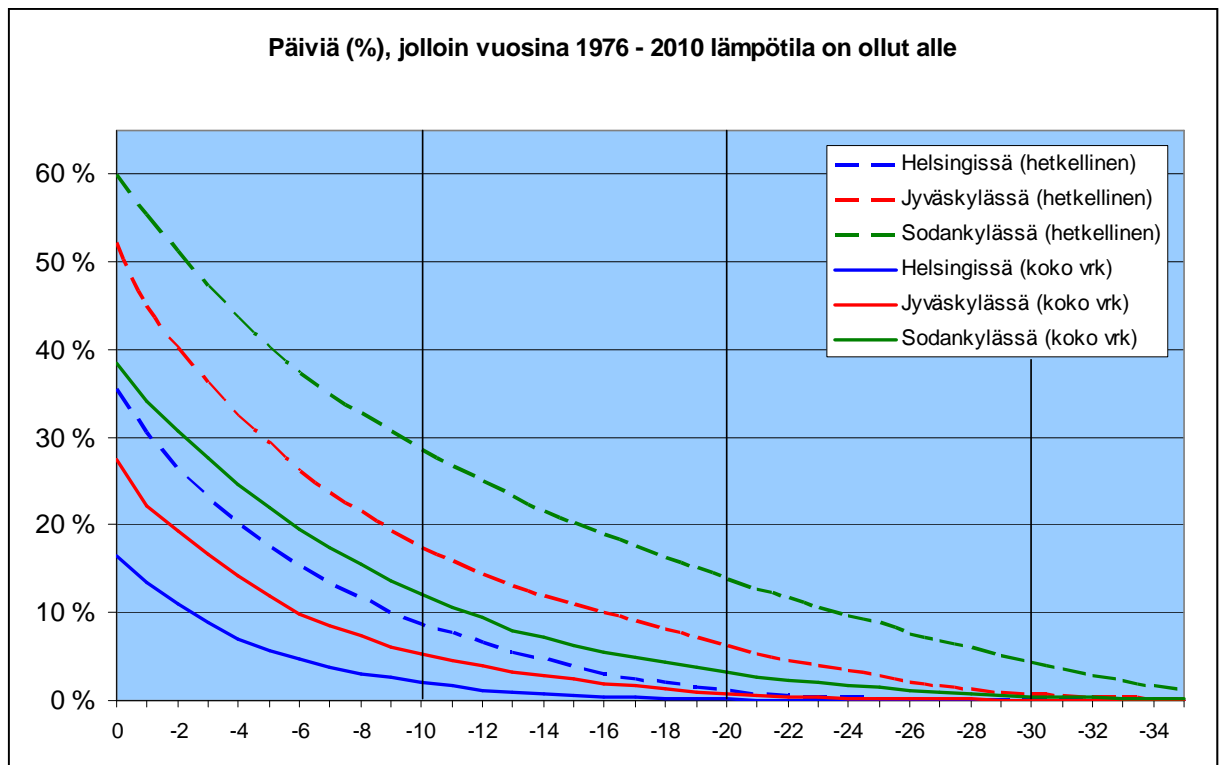
Vuorokauden ja vuoden ajasta johtuva lämpötila

Toimintaympäristön lämpötiloilla on vaikutuksia käytettävän laitteen virtalähteiden suorituskyvyille. Kylmissä lämpötiloissa paristojen kapasiteetti heikkenee ja lämpimissä se paranee siten, että -10 °C :ssa pariston kapasiteetti saattaa olla alle 60 % ja $+40\text{ °C}$:ssa yli 110 % ilmoitetusta [38]. Käyttölämpötilat asettavat myös vaatimuksia laitteessa käytettäville komponenteille sekä laitteen rakenteellisille ratkaisuille. Riippuen laitteelle ilmoitetun käyttölämpötilan rajoista, Suomessa ainoastaan pakkasen rajoittaa käytännössä joidenkin laitteiden *käytettävyyttä* ulkoilmaolosuhteissa osan aikaa vuodesta ³.

Ajankohta, jolloin 30-vuotisen (1971–2000) säätilaston [21] mukaan lämpötila ei alimmillaankaan enää laske 0 °C :n alapuolelle koittaa Etelä-Suomessa (Helsinki) toukokuun puolessa välissä, Keski-Suomessa (Jyväskylä) kesäkuun 10.päivän tienoilla, Pohjois-Suomessa (Oulu) kesäkuun alussa ja Lapissa (Sodankylä) kesäkuun puolessa välissä. Vastaavasti ajankohta, jolloin lämpötila alimmillaan laskee alle 0 °C :n koittaa Etelä-Suomessa (Helsinki) syyskuun 25. päivän tienoilla, Keski-Suomessa (Jyväskylä) elo-syyskuun vaihteessa, Pohjois-Suomessa (Oulu) syyskuun alussa ja Lapissa (Sodankylä) elokuun 10. päivän tienoilla [21]. Näin ollen aikaa, jolloin lämpötila pysyy yli 0 °C , on keskimäärin vuodessa Etelä-Suomessa noin 4 kk, Keski-Suomessa noin 2,5 kk, Pohjois-Suomessa noin 3 kk ja Lapissa noin 2 kk.

Alla olevaa kaaviota käytetään arvioitaessa eri järjestelmien *käytettävyyttä* lämpötilan suhteen. Kaaviota luetaan siten, että laitteen ilmoitettu alin toimintalämpötila valitaan vaakasteikolta, jolloin paikkakunnan viivan perusteella pystyasteikolta nähdään päivien osuus vuodesta, jolloin laite ei olisi käytettävissä kyseisellä paikkakunnalla. Tarkasteltavat kaupungit Helsinki, Jyväskylä ja Sodankylä edustavat alueina Etelä-Suomea, Keski-Suomea ja Lappia. Tarkasteltavana ovat lämpötilat 0 °C :sta -35 °C :een ja tarkasteltava ajanjakso käsittää vuodet 1976 – 2010, yhteensä 12783 perättäistä päivää [5]. Päivien, jolloin lämpötila on alimmillaan käynyt tarkastelulämpötilan alapuolella, mutta ei välttämättä ole ollut sen alla koko vuorokautta, on kuvattu katkoviivalla (selitteessä tarkennuksena ”hetkellinen”). Päivien, jolloin lämpötila on koko vuorokauden ajan ollut tarkastelulämpötilan alapuolella, on kuvattu yhtenäisellä viivalla (selitteessä tarkennuksena ”koko vrk”). Huomioitavaa on, että päivien, joina lämpötila on käynyt annetun lämpötilarajan alla, lukumäärä sisältää myös niiden päivien lukumäärän, jolloin lämpötila on koko vuorokauden ollut annetun lämpötilarajan alapuolella.

³ Luvussa 3 tarkastelluissa tuotteissa oli käyttölämpötilan yläraja vähintään $+45\text{ °C}$, useimmiten se oli enemmän kuin $+60\text{ °C}$. Tarkasteltavan ajanjakson, vuosien 1976 – 2010 aikana korkein Suomessa mitattu lämpötila on $+37,2\text{ °C}$ (Liperissä, Joensuun lentoasemalla 29.7.2010) ei yllä vielä lähellekään näitä lukemia. Huomioitavaa kuitenkin on, että mikäli laitteita sijoitetaan lämmönlähteiden läheisyyteen tai kuumana kesäpäivänä suoraan auringonpaisteeseen tai umpinaisiin sisätiloihin, laitteen todellinen toimintalämpötila nousee selvästi ulkolämpötilan yläpuolelle.



Kaavio 1: Kaaviossa näkyy vuosien 1976 – 2010 ”vuorokauden ylin” ja ”vuorokauden alin” tilastojen perusteella päivien osuus (prosentteina vuodesta), jolloin lämpötila on laskenut vaaka-asteikolla olevaan lämpötilaan tai sen alle. Kaavioon merkityt pystyviivat -10 °C, -20 °C ja -30 °C ovat tarkasteltavissa laitteissa (luku 3) useimmin esiintyneet pakkasenkestorajat, jotka sopivat tarkasteltuun lämpötilahaarukkaan.

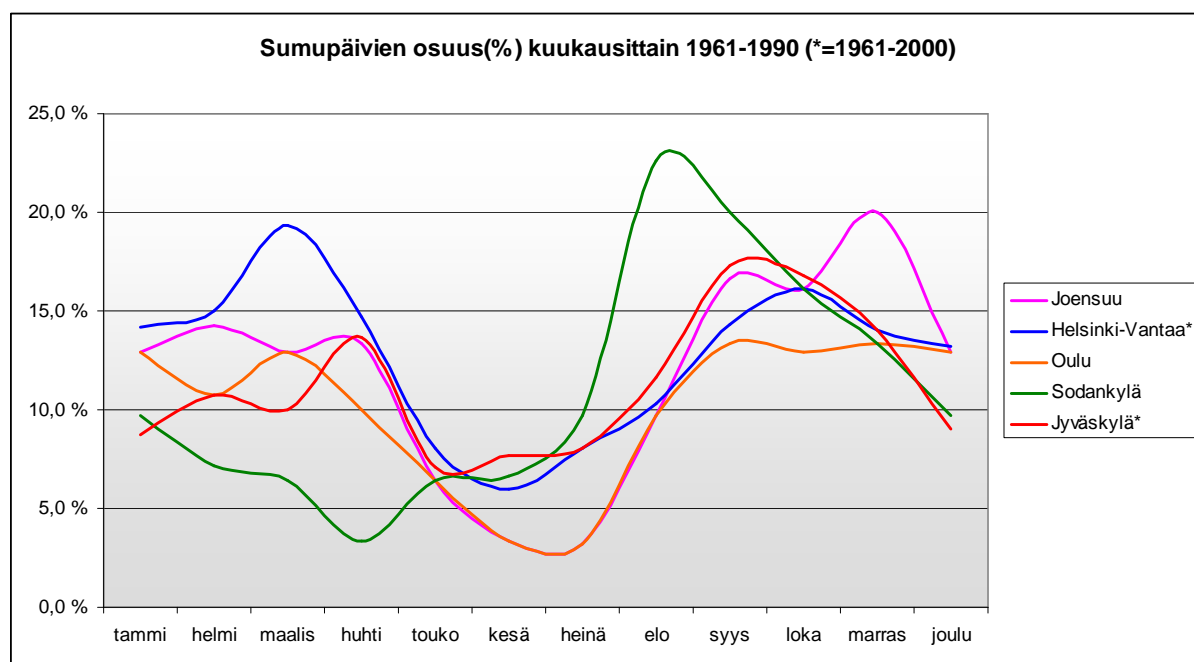
Tarkasteltavan 35 vuoden aikana lämpötila Helsingissä ei kertaakaan ole käynyt -35 °C:ssa eikä siellä yhtään kokonaista vuorokautta ole ollut alle -31 °C. Vastaavasti Jyväskylässä päiviä, jolloin lämpötila on hetkellisesti laskenut -35 °C:een tai sen alle, on ollut 17 ja kertaakaan koko vuorokauden lämpötila ei ole laskenut alle -34 °C:een. Sodankylässä lämpötila on hetkellisesti käynyt 158 päivänä -35 °C:ssa tai sen alapuolella ja näistä 16 päivänä lämpötila on pysynyt -35 °C:ssa tai sen alla koko vuorokauden. [12]

Sääolosuhteista johtuva ilmankosteus ja sumu

Sumu on ilmassa olevaa näkyvyyttä huonontavaa kosteaa sameutta. Säähavaintoasemilla sumuksi luokitellaan ilmassa oleva kostea sameus, joka on heikentänyt näkyvyyden alle 1 kilometriin. Mikäli sumun tiheys ei rajoita näkyvyyttä yhteen kilometriin, siitä käytetään termiä ”utu”. Sumua syntyy, kun ilman suhteellinen kosteusprosentti saavuttaa 100 % ja utua, kun se saavuttaa 90 %. Tämä tapahtuu kun joko ilman lämpötila laskee kastepisteeseen tai kun ilman kosteus kasvaa kyllästystilaan. Tällöin ilmassa olevan vesihöyryn haihtuminen ja tiivistyminen on yhtä nopeaa ja vesihöyry tiivistyy pieniksi pisaroiksi [16].

Ilmassa oleva sumu heikentää näkyvän valon alueella toimivien sensoreiden (paljaiden silmien, näkyvän valon aallonpituuksilla toimivien kameroiden ja valonvahvistimien) ja infrapuna-alueella toimivien sensoreiden (infrapunatunnistimien ja lämpökameroiden) käytettävyyttä vaimentamalla voimakkaasti näillä aallonpituuksilla tapahtuvaa säteilyä, mutta se vaimentaa vain vähän mikroaalto-aallonpituuksilla tapahtuvaa säteilyä eikä vaikuta äänen tai värinän etenemiseen mitenkään [74],

Alla olevassa kaaviossa on esitetty sumupäivien keskimääräinen lukumäärä kuukausittain vertailupaikkakunnilla. Vertailupaikkakunnilla sumuisia päiviä on yli 10 % vuodessa, mutta ne painottuvat keväälle ja syksyyn. Tilastosta ei ilmene, kuinka kauan sumuiset jaksot ovat kestäneet, vaan vuorokausi on tilastoitu sumupäiväksi, jos vähintään yhtenä kolmen tunnin havaintovälinä ilmassa oleva kostea sameus on vähentänyt näkyvyyden korkeintaan yhteen kilometriin.



Kaavio 2: Vertailupaikkakuntien keskimääräinen kuukausittaisten sumupäivien lukumäärä vertailuajanjaksona 1961 - 1990. Helsingin ja Jyväskylän vertailuajanjaksona on 1961 - 2000.

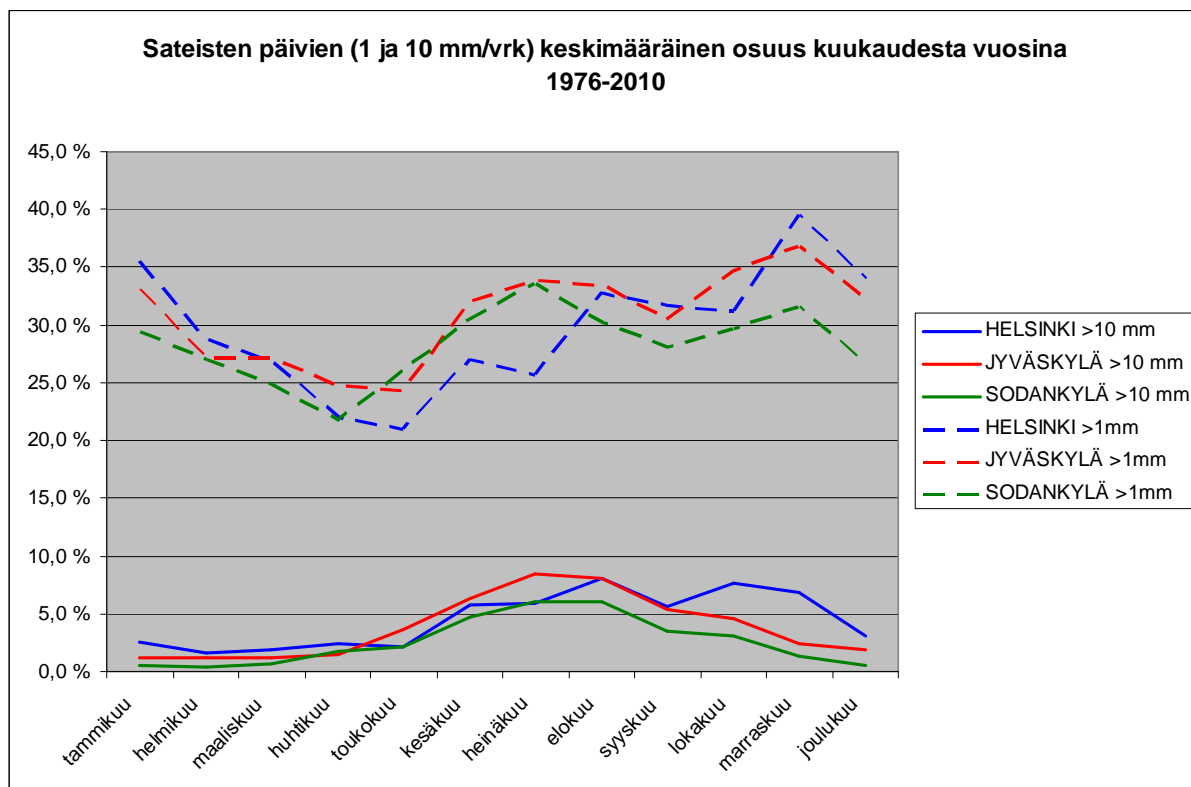
Sääolosuhteista johtuva vesi- tai lumisade

Vesi- ja lumisade heikentävät sekä näkyvän valon, infrapunavalon ja millimetriaallonpituus-alueilla toimivien sensoreiden toimintaan vain vähäisesti [73], joten sateisuus ei varsinaisesti vaikuta arvioitaessa eri tekniikoihin perustuvien sensoreiden käytettävyyttä suomalaisissa olosuhteissa. Sateisuus ja kosteus kuitenkin asettavat vaatimuksia laitteen koteloinnin vesitiivydelle ja vähentävät sisäkäyttöön tarkoitettujen laitteiden käytettävyyttä taistelukentän olosuhteissa.

Ilmastotilastoissa sateisiksi päiviksi lasketaan vuorokaudet, joiden aikana vettä on satanut vähintään yksi millimetri. Sateen määrä ilmoitetaan aina veden määränä, riippumatta siitä onko sade tullut vetenä, rakeina, räntänä vai lumena. Se kuinka paljon ”paksumpaa” satanut lumipeite on verrattuna siitä sulatettuun veteen, johtuu useista tekijöistä kuten sadehetkellä vallinneesta ilman lämmöstä ja kosteudesta. Perinteisesti meteorologiassa käytetyn nyrkissäännön mukaan sataneen lumipeitteen paksuus on kymmenkertainen verrattuna siitä sulatettuun veteen.

Sateen rankkuus vaihtelee ja luonteensa puolesta sateet voidaan Suomessa luokitella kesä- ja talvisateisiin. Kesällä suurin osa sateista on iltapäivisin esiintyviä noin 20–30 minuutin pituisia kuurosateita ja yhtenäisten kesäsateiden kesto on noin neljä tuntia. Talvisateet puolestaan saattavat kestää useita tunteja [22]. Viidentoista millimetrin sadekertymä tunnissa on melko tyypillinen sadekuuro Suomessa, tämä tapahtuu yhdellä mittausasemalla keskimäärin kerran kahdessa vuodessa.

Allaolevassa kaaviossa esitetään vuosien 1976 – 2010 aikana mitattujen ilmastotilastojen perusteella sateisten päivien osuus kuukauden päivistä kolmella eri paikkakunnalla. Erilaisiksi sadepäiviksi luokitellaan päivät, joina vettä on kertynyt 0,1 mm, 1 mm ja 10 mm. Koska päiviä, joiden aikana sadetta on kertynyt alle 0,3 mm kutsutaan poutapäiviksi, ne jätetään tässä huomiotta. [22]



Kaavio 3: Sateisten päivien osuus eri kuukausien päivistä vuosina 1976 – 2010. Kaaviossa yhtenäisellä viivalla on esitetty päivien, jolloin sataa vähintään 10 mm, osuus kuukausien päivistä. Katkoviivalla on esitetty päivien lukumäärä, jolloin vuorokautinen sademäärä on 1 mm tai enemmän,

Kosteutta lisäävien ja näkyvyyttä huonontavien tekijöiden lisäksi lumisateella on teknisille laitteille myös muita, toissijaisia, vaikutuksia. Talvella satava ja tuiskuava lumi saattaa heikentää esimerkiksi kameroiden *käytettävyyttä* kertymällä linssin eteen. Luminen maa saattaa myös vaimentaa ääniä ja heikentää seismisten sensorien (geofonien) herkkyyttä. Vaikka seisminen sensori itsessään upotettaisiinkin tärinää hyvin välittävään routaiseen maahan, lumipeite vaimentaa sen päällä liikkuvien kohteiden aiheuttamaa tärinää.

Taistelun ja joukkojen liikkeen seurauksena syntyvä savu ja pöly

Taistelukentällä esiintyvien räjähdysten seurauksena ilmaan nousseiden partikkeleiden koko vaihtelee välillä 7 – 70 μm [75]. Pölypilven tiheys räjähdysten seurauksena on 0,05 – 10 g/m^3 [75]. Maaperän laji tai räjähdysten tyyppi ei vaikuta sanottavasti räjähdysten seurauksena syntyneen pölypilven hiukkaskokoon. Ajoneuvojen liikkeen seurauksena nousevan pölypilven hiukkaskoko vaihtelee välillä 4 – 45 μm ja pölypilven tiheys on 0,03 – 3 g/m^3 . Ajoneuvon tyyppi tai nopeus ei vaikuta merkittävästi niiden nostamaan hiukkaskokoon. [75] Lisäksi kaikki toistaiseksi käytössä olevat sotilasajoneuvot tuottavat moottoreiden käydessä ajoneuvon taakse tai sivulle paksua pakokaasua, joka saattaa olla havaittavissa vaikka alusta, jolla ajoneuvot liikkuvat, ei pölyäisikään.

2.3. Valvottavan kohteen havainnointikyky ja valvontalaitteen havaittavuus

Useat valvontalaitteet⁴ eivät toimiessaankaan liiku ollenkaan ja jotkut liikkuvatkin kamerat on suljettu läpinäkyvän kupolijärjestelmän sisään ("dome-kamerat"), jolloin sen sisällä olevan kameran kääntyessä ulkoinen kupoli ei liiku. Liikkuvien valvontalaitteiden liike on aina tarkoituksellista ja se voidaan säätää erittäin nopeaksi tai hitaaksi, kun taas valvontatehtävässä oleva ihminen saattaa joutua liikkumaan pelkän tarkoituksellisen liikkeen kuten pään kääntäminen lisäksi myös tahattomasti (esimerkiksi vaihtaessaan asentoaan puutumista estäessään, lämmitelläkseen, hätistelläkseen hyttysiä tai pelkästään ehkäistäkseen tylsistymistä).

Valvontalaitteet aiheuttavat toimiessaan laitteesta riippuen vain hyvin heikon äänen⁵ tai ovat täysin äänettämiä. Valvontatehtävää suorittava ihminen saattaa aiheuttaa ääniä tarkoituksellisen toiminnan seurauksena kuten liikkueessaan, kommunikoidessaan toisen henkilön kanssa tai tahattomalla toiminnalla, esimerkiksi yskiessään.

Useissa valvontalaitteissa on toimintaa tai havaitsemista ilmaisevia merkkivaloja sekä joissakin pimeäkäyttöön tarkoitetuissa kameroissa on pimeällä aktivoituvat infrapuna-LED-valot, mutta nämä voidaan joko peittää tai kytkeä pois käytöstä. Valvontatehtävää suorittava ihminen paljastaa sijaintinsa valoilla vain käyttäessään niitä väärin, mutta saattaa paljastaa toimintansa valonvahvistimilla varustetulle viholliselle esimerkiksi tupakoidessaan.

⁴ esimerkiksi kiinteästi paikalleen asennetut kamerat ja passiiviset infrapunatunnistimet

⁵ esimerkiksi kameran kääntymisestä, zoomaamisesta tai tarkennuksesta aiheutuva "surina"

Sekä tekninen valvontalaite että valvontatehtävää suorittava ihminen voidaan naamioida paikalleen näkyvän valon aallonpituusalueella siten, ettei niitä voida erottaa paljain silmin kaikkien suunnista. Pääosa tarkastelluista sensorityypeistä ei aiheuta minkäänlaista havaittavaa lämpösäteilyä ja muutkin sensorityypit on lämpönaamioitavissa. Valvontatehtävää suorittavan ihmisen lämpösäteilyä ei voida käytännössä täysin peittää.

Valvontalaitteet (varsinkin kohti osoittavat kamerat) ovat kuitenkin havaittavissa aktiivisin keinoin esimerkiksi antisensorilaserkeilauksella, jossa maastoa valaistaan laserilla ja mitataan antisensorilaseria kohti suunnatuista linseistä takaisin heijastunutta (retroheijastus) säteilyä. Tätä keinoa käytetään myös paljastamaan vihollisen tarkka-ampujia ja muita optisilla tähtäimillä varustettuja aseita. [73]

2.4. Taistelukentän valvontaan sotilaskäytössä olevia järjestelmiä

Maasensorijärjestelmä

Maasensorijärjestelmää alettiin kehitellä yhdysvalloissa Vietnamin sotaa varten, jossa suuria vaikeasti valvottavia alueita pyrittiin valvomaan verrattain vähäisillä joukoilla. Esimerkkeinä ”valvomattomista maasensorijärjestelmistä” (Unattended Ground Sensors, UGS) toimivat tässä tarkastelussa yhdysvaltalainen ”REMOte Battlefields Surveillance System” (REMBASS), sen uudempi versio ”Improved-REMBASS” (I-REMBASS) ja saksalainen ”Bodensensorausstattung” (BSA). [11]

Nykyiset maasensorit ovat pieniä, maastoon vietäviä laitteita, joissa on yleensä ainakin akustinen, seisminen ja magneettinen sensori sekä passiivinen infrapuna-sensorijärjestelmä, sisäänrakennettu signaalien tulkinta- ja käsittelyjärjestelmä (prosessori) sekä hälytyksen välittämiseksi yleensä VHF-taajuuksilla toimiva radiolähetin antennineen. Havaitessaan kohteen (useammalla sensorillaan) ne pyrkivät luokittelemaan sen (ihmisiä, ajoneuvoja, panssarivaunuja -tarkkuudella) ja päättämään sen suunnan (vertaamalla useamman sensorin saamia havaintoja ajan suhteen) sekä viestittävät havainnon kauempana olevaan valvontakeskukseen (jopa 8 - 15 km:n etäisyydelle). Järjestelmään voidaan sisällyttää radiotoistimia, joita käytetään välitysasemina sensoreiden lähettämän tiedon ja valvontakeskuksen välillä lisäten etäisyyttä sensorien ja valvontakeskuksen välillä jopa 150 km:iin saakka.[4]

Näiden järjestelmien toiminta-aika on jopa 30 vuorokautta[4]. Pitkä toiminta-aika on mahdollistettu siten, että valmiustilassa ollessaan vain vähiten virtaa kuluttava sensorijärjestelmä on toiminnassa. Kun tämän sensorin ”hälytyskynnys” ylittyy saadun havainnon perusteella, järjestelmän muutkin sensorit ja radiolähetin aktivoituvat. Ne sammuvat taas uudelleen kun tietty aika ilman havaintoja on kulunut.[46]

Valvomattomista maasensoreista koostuvat valvontajärjestelmät ovat yksi mahdollinen ratkaisu vuoden 1997 Ottavan sopimuksen kieltämien, valvomattomien miinakenttien korvaavaksi järjestelmäksi [80].

Lennokkijärjestelmä

Nykyisin sotilaskäytössä olevat lennokkijärjestelmät jaetaan käyttöperiaatteidensa, lento-ominaisuuksiin liittyvien suorituskäytönsä sekä kokonsa perusteella eri maissa ja organisaatioissa eri luokkiin. Riippumatta alkuperästä tai virallisista termeistä, vertailun vuoksi tässä tarkastellaan vain pienikokoisia lennokkeja, jotka sopivat kohdassa 1.2 esitettyihin määritelmiin ja jotka on tarkoitettu taktiseen tiedusteluun. Taktisella tiedustelulla tässä tarkoitetaan tiedustelua, jonka tuottama tieto on tarkoitettu joko suoraan joukolle itselleen tai korkeintaan prikaati-tasoisia toimenpiteitä varten.

Rakenteellisten ominaisuuksien mukaan lennokkeja on ainakin kolmea eri pääluokkaa; kiinteäsiipisiä (”lentokone”), pyöriväsiipisiä (”helikopterit” ja multiroottoriset) sekä aerostaatit (ilmaa kevyemmät, ”ilmalaivat”). Jokaisella perusratkaisulla on etunsa ja haittansa. Aerostaatteja ei tässä yhteydessä tarkastella niiden suuren koon, helpon havaittavuuden ja hitaan liiketäimiskyvyn takia.

Kiinteäsiipisten lennokkien edut ovat kokonaisjärjestelmän yksinkertaisuus, käyttöetäisyys (=etäisyys, jossa voi käydä lennon aikana), liikkumisnopeus ja lennokin pienuus. Tasapainotettua kiinteäsiipistä lennokkia voidaan vähimmillään ohjata kahdella ohjaus-signaalilla (työntömoottori + sivuperäsin tai kaksi erillistä työntömoottoria). Useimmiten käytettyjä ohjauslaitteita radio-ohjattavissa kiinteäsiipisissä lennokeissa ovat työntömoottorin lisäksi koneen pyrstössä olevat sivuperäsin (engl. ”*rudder*”), korkeusperäsin (engl. ”*elevator*”) siipien ohjaussivut (engl. ”*aileron*”), joilla ohjataan rungon kallistumista sivuille [77].

Pyöriväsiipisten lennokkien etuina ovat liikkuvuussuunnan valinnan vapaus, kyky leijua paikallaan, pieni lentoonläh- ja laskeutumisalue, kiinteäsiipisiä lennokkeja suurempi hyötykuorma suhteessa omaan massaansa sekä työntövoimareservi tuulisissa olosuhteissa toimimista varten [77]. Helikoptereiden kaltaisten lennokkien heikkouksia ovat kuitenkin epävakaut lentominaisuudet, mekaaninen monimutkaisuus ja voimakas moottoreiden käyntiääni [77]. Perinteiseen ”helikopteriin” kuuluu yleensä yksi pääroottori ja yksi pyrstöroottori. Pääroottorin kierrosnopeudella sekä säätämällä roottorin lapakulmia pyörimiskierroksen eri vaiheissa kone saadaan nousemaan, laskeutumaan ja kallistumaan sekä myös liikkumaan eri suuntiin. Pyrstöroottorin tehtävänä on lähinnä estää pääroottorin pyörimisestä johtuva koneen sivutäpyöriminen, mutta tarvittaessa myös kääntää helikopterin keulaa.

Helikopterin rakenteen rinnalle on kehitelty moniroottorisia laitteita, joissa on neljästä kahdeksaan nostomoottoria kolmesta kahdeksaan tukivarren päässä eikä ollenkaan pyrstöroottoreita. Näissä rakenteissa joka toinen moottori pyöri eri suuntiin eliminoiden tahattoman koneen pyörimisen. Laitetta voidaan kääntää, nostaa, laskea ja kallistaa sekä liikkua kaikkiin suuntiin vain eri moottoreiden kierrosnopeutta säätämällä. Tällainen periaate eliminoi helikoptereiden heikkoutena mainittavan monimutkaisen mekaanisen vivuston, joilla pääroottorin lapakulmia säädetään [77].

Esimerkkinä kiinteäsiipisistä sotilaskäytössä olevista pienikokoisista lennokeista mainittakoon yhdysvaltalaisen Lockheed Martinin valmistama ”Desert Hawk”. Lennokin lentoonlähöpaino on 2,3 kg, sen pituus on 0,9 m ja siipien kärkiväli 1,2 m. Lennokki toimii sähkömoottorilla ja sillä saavutetaan 9 km toimintasäde 1,5 h toiminta-aikana. Desert Hawkin lentokorkeus on enimmillään 1000 jalkaa (n 300 m) ja se voi kantaa 450 gramman hyötykuorman, joka on videokamera tai jäähdyttämätön infrapunakamera, jonka kuva lähetetään reaaliaikaisena maa-asemalle. [71]

”Desert Hawk” laukaistaan kädessä pidettävän katapultin (jännitykseen viritetyn kuminauhan) avulla. Lennokin käyttämiseen ja laukaisemiseen vaaditaan kaksi henkilöä. Kone paikantaa itsensä GPS-vastaanottimella ja lentoreitti ohjelmoidaan koneeseen kannettavalla tietokoneella ennen laukaisua, mutta tehtävä voidaan keskeyttää ja kone ”kutsua” kotiin kesken lennon. [71]

Vaatimukset täyttävän kokoluokan helikoptereista ei sotilaskäytössä esimerkkejä juurikaan ole. Todennäköisesti tunnetuin helikopterityyppinen UAV on Northrop Grummanin valmistama ja yhdysvalloissa käytössä oleva MQ-8 ”Fire Scout”. Kooltaan tämä UAV on kuitenkin oikean helikopterin luokkaa. Sotilaskäytössä Yhdistyneissä Arabiemiirikunnissa oleva Itävaltalaisen Schiebelin valmistama Camcopter S-100 on pituudeltaan 3,09 metriä pääroottorin halkaisijan ollessa 3,4 m. Camcopterin yhtäjaksoinen lentoaika on enimmillään 6 h, sen oma massa on n 100 kg ja lentoonlähöpaino on suurimmillaan 200 kg. Hyötykuormaa kone voi kantaa enimmillään 50 kg. [32]

Esimerkkinä pienikokoisemmasta helikopterityyppisestä lennokista (ei sotilaskäytössä) mainittakoon Berkeleyn yliopiston BEAR Ursa Elektra. Lennokki perustuu kaupalliseen Maxi-Joker lennokkihelikopteriin. Roottorin halkaisija 1,8 m, oma massa 4,5 kg, maksimihyötykuorma 4 kg, lentoaika yhtäjaksoisesti enimmillään 15 minuuttia. Laitteen virtalähteenä käytetään Litium-Polymeeriakkuja [77]

Kuvaus-, tiedon käsittely- ja langattoman tiedonsiirtotekniikan kehittyessä ja pienentyessä, lennokeita kehitetään edelleen pienemmiksi. Pääosin yhdysvalloissa kokeillaan UAV:ta joiden kokoluokka on 15 cm ja paino alle 100 g. Kehiteltävänä on vieläkin pienempiä, hyönteisen kokoluokkaa olevia UAV:ta, joiden lentotavat tulevat poikkeamaan perinteisistä periaatteista esimerkiksi lintujen ja lentävien hyönteisten kaltaiseksi siipien ”räpyttelyksi”. Näiden kokoluokkien lennokkien käyttöä rajoittaa kuitenkin nyt ja tulevaisuudessa pienestä massasta johtuva alttius tuulen vaikutuksille [85].

2.5. Yhdistelmä

Kaikkia taistelukentällä esiintyviä, tiedustelun ja valvonnan mielenkiinnon kohteita (kohta 2.1) yhdistää se, että ne liikkueessaan tuottavat ääntä, aiheuttavat maanpinnan tärinää ja mitattavia muutoksia magneettikentässä, emittoivat infrapunasäteilyä ja heijastavat valoa sen kaikilla taajuualueilla. Tämän lisäksi sotilasajoneuvot tuottavat havaittavia pakokaasuja. Havaintoja elävistä, lämpimistä olennoista saadaan siis infrapuna-, tärinä- ja äänisensoreilla. Metallia sisältävistä tai mukanaan kantavista kohteista saadaan havaintoja magneettisensoreilla. Näiden lisäksi polttomoottorimoottoriajoneuvoista saadaan havaintoja savuhälyttimillä. Kaikkia kohteita voidaan kuvata näkyvän valon kameroilla suotuisissa valaistusolosuhteissa tai lämpökameroilla kaikissa valaistusolosuhteissa.

Kaiken mahdollisen liikkeen havaitseminen ja ilmoittaminen ei taistelukentän olosuhteissa ole järkevää, vaan ne ”kyllästävät” laitteistoa valvovan henkilöstön tarpeettomilla hälytyksillä. Mahdollisesti käytettävän sensorijärjestelmän tulisi siis kyetä erottelemaan esimerkiksi metsän eläimet pois ”hälytyslistalta”, joten magneettisensorin tulisi olla yksi osa hälytysjärjestelmää tai ääni- ja tärinäsensoreiden tulisi olla säädetty siten, etteivät alueella liikkuvat riistaeläimet ja linnut aiheuta virrehälytyksiä. Mikäli omien joukkojen aiheuttamia hälytyksiä halutaan välttää, voisi tämä olla tehtävissä esimerkiksi mukana kannettavilla RFID-lähettimillä, joiden lähetteen sensorit tunnistaisivat ja estäisivät hälytyksen.

Koska Suomessa on karkeasti yli 40 % ajasta pimeää, tulee sensorijärjestelmän havainnoinnin olla riippumaton valaistusolosuhteista. Ainoastaan näkyvän valon aallonpituusalueella toimiva kamera on riippuvainen valaistusolosuhteista ja vaatii pimeällä toimiakseen lisävalaistuksen. Infrapuna-, ääni-, magneetti-, tärinä- ja (pako)kaasusensorit sekä lämpökamerat ovat riippumattomia ulkoisista valaistusolosuhteista.

Koska Pohjois-Suomessa jopa yli 50 % ajasta ja Etelä-Suomessakin noin 35 % ajasta lämpötila on ainakin osan vuorokautta alle 0 °C, taistelukentän sensorijärjestelmän tulee kestää pakasta. Pakkaskeston määrä suhteessa sensorin heikompaan *käytettävyyteen* on kuitenkin toinen asia. Kannattaa muistaa että vain noin 4 % ajasta Sodankylänsä korkeuksilla lämpötila laskee alle -30 °C. Laitteen pakkaskestoa voidaan parantaa myös keinotekoisesti esimerkiksi ulkoisilla lämmittimillä, jotka yleensä kuluttavat joko lisää sähköä tai muuta polttoainetta.

Suomessa keskimäärin noin 15 – 20 % vuoden päivistä on sumuisia, jolloin näkyvyys on rajoittunut alle yhteen kilometriin, selvästi harvemmin näkyvyys on tätä lyhyempi. Vastaavasti kuten pimeys, sumuakin rajoittaa näkyvän valon aallonpituusalueella toimivien kameroiden, mutta myös lämpökameroiden ja infrapunatunnistimien ja mahdollisesti (pako)kaasutunnistimien *käytettävyyttä*. Sumu ei heikennä ääni-, värinä-, magneettisensoreiden toimintaa.

Noin 30 % päivistä Suomessa esiintyy sadetta jossakin sen muodoista. Vesisade asettaa vaatimuksia taistelukentän olosuhteissa käytettäväksi tarkoitetun laitteen koteloinnille tai osien vesitiiviydelle. Taistelukentän olosuhteissa esiintyvä pöly- ja savu haittaavat näkyvän valon aallonpituusalueella toimivia sensoreita, mutta eivät kuitenkaan estä tässä tarkasteltavien sensorityyppien toimintaa. Vaikka savu ja paksu pölypilvi estävätkin niiden suojassa olevan kohteen tunnistamisen, havaitaan itse savu- tai pölypilvi yleensä varsinaista kohdetta helpommin ja kauempaa.

Euroopassa käytettävissä olevaa järjestelmää sähkölaitteiden tiiviiden määrittelemiseksi vieraista esineistä (pöly, vesi) vastaan kuvataan IP-luokituksella (International Protection[70], joskus mainittu myös Ingress Protection). IP-luokitus koostuu ”IP” tunnuksesta ja sitä seuraavasta vähintään kahden numeron pituisesta koodista. Koodin ensimmäinen numero kertoo laitteen suojan pölyä ja toinen numero suojauksen tason kosteutta ja vettä vastaan. Mahdolliset näiden jälkeen ilmoitettavat kirjaimet kertovat laitteen suojauksen mekaanisilta iskuilta, sekä laitteen vaarallisten osien suojausasteen koskettamiselta eritasoisilla työkaluilla. Yleisesti ottaen, mitä suuremmat numerot, sitä paremmin laite on suojattu pölyä ja vettä vastaan. Suurin mahdollinen IP-koodi (IP-68) tarkoittaa, että laite on täysin pölytiivis ja suojattu veden sisään pääsystä jatkuvasti upotettuna. Koska taistelukentän olosuhteissa esiintyy epäpuhtauksia (pölyä) ja taistelukentällä käytettävän laitteen tulisi kestää normaaleita suomalaisia sääolosuhteita, taistelukentän olosuhteissa käytettävälle laitteelle riittävä IP-luokitus olisi IP-54 (=suojattu pölyltä ja roiskuvalta vedeltä).

Lähtökohtaisesti taistelukentällä käytettävän valvontalaitteen tulisi olla maastoutettavissa vaikeasti havaittavaksi eikä se toiminnallaan saisi paljastaa sijaintiaan. Vaikka tarkastellut kamerat ja infrapunatunnistimet ovatkin ”passiivisia sensoreita”, niiden käyttö edellyttää kuitenkin näköyhteyttä tarkkailemiinsa kohteisiin. Sen lisäksi että ääni-, magneetti-, värinä- ja (pako)kaasutunnistimet ovat myös passiivisia sensoreita, ne voidaan myös sijoittaa siten, että niiden läsnäolo on käytännössä mahdotonta havaita ilman aikaa vieviä etsintöjä. Yleisesti ottaen valvontakäyttöön tarkoitettu valvontalaite on kokonsa ja aiheuttamiensa herätteiden (näkyvyys, ääni, väritys ja liike) puolesta vastaavaa tehtävää hoitavaa ihmistä vaikeammin havaittavissa.

Mikäli sensorilta halutaan ilmaisu havainnosta reaaliaikaisena, tämä edellyttää sensoreihin liitettyjä viestin välitykseen soveltuvia kokonaisuuksia (esimerkiksi radiolähettä). Havaintoa välittävä radiosignaali on tällaisissa sensoreissa helpoiten havaittavissa ja häiritävissä oleva kokonaisuus.

Laitteen paljastuvuutta on todennäköisesti mahdollisuus käyttää myös toisin. Saadessaan selviä havaintoja tarkkailulaitteista jollain alueella, kohteen toiminta saattaa muuttua tai hidastua siten, että siihen voidaan vaikuttaa (vrt sotilasjoukon toimintaan lähestyttäessä selvästi merkittyä miinakenttää). Tämän lisäksi taistelukenttä voidaan paikallisesti kyllästää ”valevalvontalaitteilla”, mikä saattaa vähentää kohdejoukon reagoimista oikeisiin valvontalaitteisiin.

Sotilaskäytössä olevista järjestelmistä: Erilaisista olemassa olevista järjestelmistä maavalvontasensorit ja UAV:t näyttävät olevan suosituimpia sotilaskäytössä olevia järjestelmiä. Maavalvontasensorit soveltuvat valvonta- ja tarkkailukäyttöön, koska ne asennetaan paikalleen joko käsin tai sirotemiinoitteiden tapaan lentokoneilla tai tykistöllä. Asentamisen jälkeen maavalvontasensoreita ei voi siirtää etäkäyttöisesti ja ne pysyvät toimintakuntoisina pitkiä aikoja. UAV:t soveltuvat paremmin aktiiviseen tiedonhankintaan ja tiedustelukäyttöön, koska niillä hankitaan reaaliaikaista materiaalia (yleensä videokuvaa) ja niitä liikutetaan koko tehtävän ajan.

3. KAUPALLISET VALVONTATUOTTEET

3.1. Kameravalvontajärjestelmät ja valvontakamerat

Kameravalvontajärjestelmät

Myynnissä olevat valmiit kameravalvontajärjestelmät ("paketit") koostuvat yleensä useammasta kiinteästi asennettavasta valvontakamerasta (1-16 kameraa) johtimiseen ja keskustallenninyksiköstä virtalähteineen. Yleensä pakettiin sisältyy myös seinä/kattokiinnikkeet jokaiselle kameralle sekä luonnollisesti käyttö- ja asennusohjeet ja mahdollinen käyttöohjelmisto. Tarkasteluun sisällytettiin vain tämän tutkimuksen kohdan 1.1 vaatimukset täyttäviä kameravalvontajärjestelmiä.

Nykyisillä järjestelmillä tallennus tapahtuu tallennenauhojen sijaan kiintolevyille, joka on yleensä kooltaan 250 - 2000 GB, mutta niissä on usein mahdollisuus verkon yli tapahtuvaan etäkatsomiseen. Kamerat voidaan säätää nauhoittamaan joko jatkuvasti, ajastetusti tai liiketunnistukseen reagoiden tietyn aikaa. [50], [47], [79], [60]

Myynnissä olevissa valmiissa valvontajärjestelmissä kamerat ovat liitettävissä keskustallenninyksikköön 10 – 25 metrisellä johdolla, jossa samalla kulkee sekä virta kameralle että videosignaali keskusyksikköön.

Kameravalvontajärjestelmät jakautuvat nykyään kahteen erilaiseen tekniikkaan; analogiseen (perinteiset videokamerat) ja digitaaliseen (IP-kamerat). Tässä tutkimuksessa ei keskitytä vertailemaan näiden kahden tekniikan välisiä etuja ja haittoja, mutta keskeisimpinä eroina näillä tekniikoilla mainittakoon, että korkealaatuisimmat IP-kamerat ovat huomattavasti tarkempia kuin tarkimmat analogiset kamerat, mutta niiden valontarve on analogisia kameroita suurempi. IP-kamerat käyttävät kuvan koodaukseen useampia eri standardeja, kuin analogiset kamerat (jotka käyttävät vain PAL tai NTSC formaattia), joten kameroiden vaihtelu ei ole IP-kameroilla niin yksinkertaista kuin analogisilla kameroilla. Analogisten videokameroiden tiedonsiirtonopeus on aina vakio kuvan tarkkuudesta riippumatta (PAL – formaatilla 25 kuvaa sekunnissa), mutta IP-kameroiden päivitysnopeutta rajoittaa käytettävä kuvatarkkuus ja verkon tiedonsiirtokapasiteetti. Viimeisimpänä erona se, että analogisen järjestelmän toimintavarmuus paikallisena kokonaisuutena on digitaalista järjestelmää häiriökestävämpi, mutta digitaalisella järjestelmällä tiedonsiirto ja etäkäyttömahdollisuus ulottuvat yhtä pitkälle kuin internet. [79]

Kiinteät ulkokamerat



Kuva 2: Esimerkkejä ”box-kameroista”. Vasemmalla Niceview NiceCam650 ja oikealla ulkokäyttöön tarkoitettu Niceview NiceCam430, jonka rungossa on aurinkolippa ja IR-LED:t linssin ympärillä.

Ulkokäyttöön tarkoitetut, kiinteästi asennettavat kamerat (”box-kamerat”) ovat tarkkuudeltaan 400 - 600 TV-juovaa. Kameran suuntaus ja tarkennus päätetään asennusvaiheessa ja kameran katselukulma on yleensä kiinteä, johon käyttäjä voi vaikuttaa ainoastaan objektiivin valinnalla (horisontaalinen katselukulma kamerasta riippuen 6 – 54 astetta), mutta joissain kameroissa käyttäjä voi asennusvaiheessa muuttaa myös kameran zoomausta. Tällaiset ulkokäyttöön tarkoitetut kamerat painavat 450 – 1150 grammaa, toimivat $-30 - +50^{\circ}\text{C}$ lämpötiloissa ja ovat pöly- ja vesitiiviitä (IP-66) [47]. Kameroissa mahdollisesti oleva pimeänäköjärjestelmä on toteutettu infrapuna-LED-valoilla, joiden teho riittää valaisemaan kohteen täysin pimeässä 15–100 metrin etäisyydelle. Käyttöjännitteenä on yleensä 12V tasajännite, joka saadaan akuista tai verkkovirrasta muuntajalla ja lisäksi IP-kameroilla on yleensä mahdollisuus saada virta PoE -tekniikalla (”Power over Ethernet”) samasta johtimesta, jota käytetään myös kuvamateriaalin välittämiseen verkkoon. Toimiessaan kamerat kuluttavat 300 – 2500 mA virtaa [47]. Virrankulutusta kasvattaa eniten kameraan mahdollisesti sisältyvien infrapuna-LED:ien määrä ja teho sekä lämmitys- ja tuuletuselementit. Kamerat on koteloitu joko perinteisen kameran koteloihin (”box-kamerat”) tai kupukameroiksi (engl. ”dome-camera”), jossa varsinainen kamera sijaitsee läpinäkyvän tai tummennetun suojakuvun sisässä. Saatavilla on vandaalisuojattuja⁶ ja jopa käsiaseiden luoteja kestäviä kupuja [79].

⁶ ”Vandaalisuojattu” tarkoittaa iskun kestäväää kotelointia. Tiedoista ei löydy, miten voimakkailta iskuilta kotelointi suojaa, mutta termi esiintyy samana useiden valmistajien ilmoittamissa tiedoissa.

Kiinteästi asennettavien kameroiden ohella mainittakoon ajoneuvokäytössä olevat *peruutus-kamerat*. Kaikki peruutuskamerat ovat ohjeiden mukaisesti asennettuina sääolosuhteet kestäviä ja joidenkin mallien pakkaskesto saattaa yltää $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ saakka. Kamerat on tehty toimimaan 12 tai 24 voltin tasajännitteellä (henkilöauto- ja kuorma-autojen akkujännitteet). Peruutuskameroiden kuvakulma vaihtelee $92 - 150^{\circ}$ välillä ja kuvan tarkkuus on 380 - 420 TV-juovaa. Joissain peruutuskameroissa on infrapuna-LED-valot ja kameran lisäksi mikrofoni äänen tallioimista varten. [43], [47]

PTZ-ulkokamerat



Kuva 3: Esimerkkejä PTZ-kameroista. Vasemmalla Pelco ES3012-2AMZ10PN ESPRIT kamera ohjattavalla ohjausvarrella ja oikealla Samsung SCC-C6325 kupu-kamera. Molemmat kamerat ovat ulkokäyttöön soveltuvia.

Ulkokäyttöön tarkoitetut ohjattavat kamerat eli PTZ-kamerat ("Pan-Tilt-Zoom") ovat yleensä rakenteeltaan kupukameroita, mutta saatavilla on myös ohjattavaan jalustaan kiinnitettyjä perinteisen näköisiä kameroita. Käyttäjä voi ohjata kameran sivu- ja pystysuuntausta (= "pannausta" ja "tiltausta") sekä zoomauksen⁷ astetta etäkäyttöisenä, yleensä johtimien välityksellä. Kameroiden tarkkuus on 520 - 600 TV-juovaa ja niissä on 10 - 43-kertainen optinen zoomausmahdollisuus ja useissa malleissa lisäksi 10 - 16-kertainen digitaalinen zoomausmahdollisuus. Kameroiden ohjaus mahdollistaa 360° jatkuvan sivusuuntaamisen ja $90 - 180^{\circ}$ pystysuuntaamisen [60], [47]. Kameraan tai käyttölaitteeseen voidaan myös ohjelmoida etukäteen skannauskuvio, jota kamera toistaa itsenäisesti ja joihinkin kameroihin voidaan liittää "hälytysliitäntöjä", joilla kamera saadaan kääntymään ulkoisen signaalin seurauksena ennalta ohjelmoituun suuntaan, esimerkiksi oveen sen auetessa tai seuraamaan itsenäisesti havaitsemaansa liikettä. Ulkokäyttöön tarkoitetut PTZ-kamerat toimivat yleensä $-30 - +70^{\circ}\text{C}$ lämpöti-

⁷(Optinen) zoomaus tarkoittaa nähtävän kuvan suurennosta sen tarkkuus säilyttäen, mutta perspektiivi vääristäen. Digitaalisessa zoomauksessa kuvan tarkkuus heikkenee suurennostuksen kasvaessa. Ihmisen silmä ei pysty zoomaamaan.[42], [45]

loissa (jotkut jopa $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ pakkasessa [60]) ja ovat pöly- ja vesitiiviitä (IP-luokitus 66 tai 67) [47]. Jokasään toimintakyky perustuu näissä kameroissa yleensä sisäänrakennettuihin lämmittimiin ja tuulettimiin, jotka mahdollistavat kameran toiminnan ja liikkeet myös pakkasessa, mutta nostavat laitteen virrankulutusta [79].

Lämpökamerat

Nykyään saatavilla on myös yksityiskäyttöön tarkoitettuja lämpökameroita, joista esimerkiksi mainittakoon 12 voltin tasasähköllä toimiva, autokäyttöön tarkoitettu lämpökamera⁸ ja ulkokäyttöön valvontakameraksi tarkoitettu IP-lämpökamera⁹. Autolämpökameran sensorin erottelukyky on 320×240 pikseliä ja IP-lämpökameran sensorin 160×128 pikseliä ja kuva voidaan skaalata näyttöihin sopivaksi. Autolämpökameran näkökenttä on 36° leveä ja IP-lämpökameran 17° leveä. Autolämpökamera on kooltaan $71,4 \times 57,4 \times 56,1$ mm ja painaa 360 grammaa ja IP-lämpökamera on tätä suurempi; pituudeltaan 343 mm ja painoltaan yli 3,5 kg. Molempien kameroiden toimintalämpötila yltää alimmillaan $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteeseen ja molemmat kamerat tuottavat videokuvaa 8,3 ruutua sekunnissa. [34], [78]

Minikamerat



Kuva 4: Esimerkkejä minikameroista. Vasemmalla DraganFly Eyecam 2,4 GHz videolähettimellä, keskellä Midland XTC "action-kamera" ja oikealla 30x30 mm kokoinen 480 TV-juovan kuvaa tuottava CCD kamera harrastelennokkeihin.

Mikäli kameran koko ja paino halutaan pitää mahdollisimman pieninä, markkinoilla on useita erittäin pienikokoisia video- tai digitaalista kuvaa tuottavia kameroita, joita kokoluokkansa puolesta kutsutaan mini- ja mikrokameroiksi. Osa tuotteista on suunnattu toimittajille ja journalisteille, osa extreme-urheilijoille, osa yksityisetsiville ja muille "vakoojille" ja osa harrastekäyttöön, esimerkiksi radio-ohjattaviin lennokkeihin kiinnitettäväksi.

⁸ esimerkkinä PathFindIR -autolämpökamera

⁹ esimerkkinä AXIS Q1910-E IP-lämpökamera

Toimittajille ja journalisteille sekä yksityisetsiville tarkoitettuja mini-kameroita on erikokoisia, joista pienimmät sopivat kokonsa puolesta kolikolle ja painavat 15 grammaa. Pääsääntöisesti tarkastellut minikamerat painavat alle 150 grammaa. Kamerat tallentavat kuva-aineiston micro-SD kortille tai osa on tehty lähettämään kuva-aineisto langattomasti vasta-asemalle 900 MHz, 2,4 GHz tai 5,8 GHz taajuuksilla [59]. Osa minikameroista on niin sanottuja ”piirilevy-kameroita” (engl. ”board camera”), jossa kamera on liitetty suoraan piirilevylle, jossa myös liitännät sähkön syöttöön ja videokuvan ulostuloon sijaitsevat. [60]

Extreme-urheiluun tehdyt kamerat (”action-kamerat”) on yleensä tarkoitettu kiinnitettäväksi esimerkiksi kypärään tai maastopyörän tankoon ja niitä käytetään mm maastopyöräilyssä, laskettelussa, rullalautailussa sekä laskuvarjohyppääjillä. Kohderyhmän vuoksi ne on tehty kestäväksi tärinää, iskuja ja roiskevettä sekä joidenkin valmistajien tuotteet ovat pakkaskestäviä tai mahdollistavat käytön sukelluksissa. Kameroiden valmistajien yksi kilpailualue on kuvan tarkkuuden lisäksi ja kuvan hidastettavuus. Tästä syystä pääosa action-kameroista tuottaa 16:9 kuvasuhteen HD-tason kuvaa jopa 1080p tarkkuudella 30 fps¹⁰ nopeudella, osa kameroista lisäksi 720p tarkkuudella 60fps nopeudella [10] ja osa kameroista kuvaa 640 x 480 (4:3 kuvasuhde) [52] pikselin digitaalista videota. Kameroiden linssit on tehty kuvaamaan yleensä laajakuvaa ja kuvausalue vaihtelee tuotteesta riippuen 127° – 170° välillä. Action-kamerat tallentavat joko sisäiseen muistiin tai SD-muistikortille pakattua¹¹ digitaalivideota. Action-kameroiden kuvausaika yhdellä akku- tai paristolatauksella vaihtelee noin 2 – 3 h välillä. Action-kameroiden paino (ilman kiinnikkeitä) vaihtelee alle 100 g:sta alle 150 g:aan. [61], [31]

Harrastelennokkeihin myytävät kamerat ovat luokkana mini-kameroista pienimpiä; pienimmät saattavat painaa vain 15 g ja tuottaa silti analogisen väri-videokuvan, joka on tarkkuudeltaan 380 TV-juovaa [56]. Pääosin lennokokikäyttöön tarkoitettut kamerat painavat noin 50 g ja tuottavat tarkkuudeltaan 480 – 550 TV-juovaa olevaa analogista tai 640 x 480 pikseliä olevaa digitaalista värivideokuvaa [27]. Pääosin harrastelennokokikäyttöön tarkoitettut kamerat kestävät pakkasta -10 °C tai -20 °C saakka [27]. Radio-ohjattavien lennokokien ja muiden ajoneuvojen piireissä kameroilta edellytetään yleensä kykyä lähettää videokuva langattomasti ohjaus-asemalle ja jotkut kamerat sisältävät 2,4 GHz tai 5,8 GHz taajuisen videolähettimen[56] tai näitä lähettimiä sekä vastaanottimia on myynnissä lisävarusteina [39], [25].

¹⁰ fps (”frames per second”) = kuvaa sekunnissa

¹¹ Yleisimmät käytetyt pakkausformaatit ovat H.264 MOV ja MPEG4

3.2. Riistakamerat



Kuva 5: Esimerkkejä riistakameroista. Vasemmalla on GSM-lähettimellä varustettu Star Hunter M10 ja oikealla maastokuvioitu Moultrie I40. Molemmat riistakamerat on varustettu infrapunasalamavaloilla ja ne tallentavat kuvansa SD-muistikortille.

Vaikka riistakamerat ovat kameroita, ne esitellään erillisenä kokonaisuutena poikkeavien käyttö- ja toimintaperiaatteidensa takia. Riistakamerat ovat ensisijaisesti luontokuvaukseen suunniteltuja kameroita, jotka asennetaan metsään kuvaamaan eläimiä niiden häiriintymättä. Kamera ottaa kuvan tai ennalta määrätyn pituisen videopätkän aina eläimen tullessa sen näkökenttään.

Riistakamerassa on liiketunnistimena vähintään yksi kohdassa 3.3 kuvattu passiivinen infrapunatunnistin, 4 – 12 megapixelin digitaalikamera, infrapuna- tai tavallinen salamavalo ja muistikortti, jonne kuvat ja videopätkät tallennetaan. Riistakameroiden kuvauskulma on 52 astetta. Riistakameroissa on tavallisten digitaalikameroiden tapaan liitännät kuvien katseluun TV:ltä ja kuvien siirtämiseen tietokoneelle. Joissakin riistakameroissa on lisäksi pieni näyttö paikan päällä tapahtuvaa kuvien tarkastelua varten sekä GSM-lähetin[37], jolla otetut kuvat voidaan lähettää suoraan haluttuun matkapuhelimeen tai sähköpostiin. Uusimmat riistakamerat hyödyntävät liiketunnistukseen tutkaa PIR-tunnistimen sijasta sekä tiedon välitykseen matkapuhelinten 3G-verkkoa, mikä mahdollistaa kameran ohjaamisen ja reaaliaikaisen videokuvan seuraamisen internetin välityksellä [30]. Useissa riistakameroissa on myös vaihtoehtoinen ominaisuus, joka tallentaa kuvaan laukaushetken lämpötilan, päivämäärän, kellonajan, kameran tunnuksen ja kuun kiertovaiheen. [57]

Pääosin riistakamerat ovat varsin pienikokoisia ja kevyitä. Kameroiden kokoluokka on yleensä alle 10 x 10 x 15 cm ja niiden paino (ilman paristoja ja akkuja) 300 – 450 g. Riistakamerat ovat luonnollisestikin ulkokäyttöön suunniteltuja ja siksi ne kestävät kosteutta sekä lämpötilojen vaihteluita varsin hyvin ilmoitettu käyttölämpötila on -20 °C - +60 °C. Virtalähteinä riistakameroissa on yleensä standardikokoa olevat paristot ja lisäksi ulkoinen liitin mahdolliselle lisääkulle. Paikalleen asennettu ja päälle kytketty kamera kuluttaa valmiustilassa sähköä hyvin vähän, noin 0,3 - 0,4 mA ja siksi se kestää parhaimmillaan valmiudessa jopa 150 vuorokautta. Pääosa kameroista on muotoilultaan ja väriykseltään jo valmiiksi paljain silmin tarkasteltuna maastoon sulautuvia. [57]

Vaikkakin riistakamerat on suunniteltu luontokuvaukseen, niitä käytetään varsin usein myös omaisuuden valvontaan esimerkiksi kesämökeillä niiden liiketunnistusominaisuuksien, huomaamattomuuden, edullisuuden, kuvan tarkkuuden ja pitkän valmiusajan vuoksi.

3.3. Passiiviset infrapunatunnistimet (liiketunnistimet)



Kuva 6: Esimerkkejä passiivista infrapunatunnistimista. Vasemmalla IR-TEC:n IR-550P edustaa tyypillisintä PIR-tunnistimen kotelointia ja oikealla ADPRO:n xtralis PRO-sarjan tunnistimet edustavat korkealaatuisia monianturielementtisiä tunnistimia.

Passiiviset infrapunatunnistimet ("PIR-tunnistimet") aistivat elävien olentojen lähettämää tai heijastamaa infrapuna- eli lämpösäteilyä. Nämä tunnistimet ovat täysin passiivisia, eli ne eivät itse lähetä minkäänlaista aistittavaa signaalia tai säteilyä. PIR-tunnistin itsessään ei ole mikään hälytin, vaan se toimii kytkimenä joillekin muille sähkölaitteille; havaitessaan infrapunälähteen liikkuvan se kytkee yhteen tai katkaisee siihen liitetyn muun laitteen virtapiirin. Yleisimmät PIR-tunnistimiin liitetyt oheislaitteet ovat pihavalot tai varashälytin.

Passiivinen infrapunasensori sisältää infrapunasäteilyä keräävän linssin sekä yhden tai useampia pyrosähköisiä anturielementtejä. Anturielementin vastaanottaman infrapunasäteilyn määrän nopeasti muuttuessa tunnistimen ohjainyksikkö "päättelee" kohteen olevan tunnistimen edessä ja laukaisee hälytyksen. Ohjainyksikkö on yleensä säädetty siten, ettei se reagoi hitaasti tapahtuvaan infrapunasäteilyn muutokseen, kuten esimerkiksi auringon noustua tapahtuvaan ympäristön lämpenemiseen. Virheherätteitä kuitenkin yksinkertaisimmissa malleissa saattaa aiheuttaa poutapäivinä pilven takaa esiin tulleen auringon aiheuttama varsin nopea ympäristön infrapunasäteilytason muutos. Kehittyneempien tunnistimien toiminta perustuu siihen, että anturielementtejä on useampia, joista jokainen tarkastelee näkökentän eri osia. Yhden anturielementin vastaanottaman infrapunasäteilyn määrän nopea muutos aiheuttaa hälytyksen, mutta mikäli säteilyn määrä nousee kaikilla elementeillä, hälytystä ei aiheudu. Jotkut PIR-tunnistimet voidaan ohjelmoida hälyttämään vain jompaankumpaan suuntaan suuntautuvasta liikkeestä¹². Tällöin päinvastaiseen suuntaan tapahtuva liike ei laukaise hälytystä. Useampielementtiset järjestelmät vähentävät väärin hälytysten lukumäärää. [6], [40]

¹² Kehittyneet monielementtiset PIR-tunnistimet kykenevät erottelemaan itsestään nähden "vasemmalle" tai "oikealle" suuntautuvan liikkeen. Vain harvat mallit voivat erottaa lähestyvää tai loittonevaa liikettä.

Anturielementtejä suojaa näkyvän valon alueella läpikuultavalta näyttävä muovikuori, joka on kuitenkin täysin läpinäkyvä infrapuna-aallon alueella, eikä näin ollen vaimenna infrapunasäteilyä ollenkaan. Kuori estää liian tikkimasta anturielementtejä sekä lähelle anturia lentävien hyönteisten aiheuttamat virheherätteet. Kuori voi muotoilultaan olla suora tai kaareva, jolloin se vain läpäisee infrapunasäteilyä tai ”linssimäinen”, jolloin se kohdistaa eri näkökentän alueilta tulevan säteilyn eri anturielementeille. [40] Kehittyneemmissä PIR-tunnistimissa suojakuorena toimii tarkkuuspeililinsi, joka keskittää infrapunasäteilyn anturielementeille [67].

Ulkokäyttöön tarkoitetut PIR-tunnistimet toimivat $-40\text{ °C} - +49\text{ °C}$ lämpötiloissa ja kestävät sääolosuhteita (IP-luokitus 44 - 54)¹³. Tunnistimia on erityyppisiä eri käyttötarkoituksia varten; pitkän kantaman, mutta kapean alueen tunnistimia tai laajan alueen, mutta lyhyemmän kantaman tunnistimia. Pitkän kantaman tunnistimilla tunnistusetäisyys on suurimmillaan jopa 150 metriä ja laajan tunnistusalueen tunnistimien valvoma alue on yleensä $120 - 200^\circ$ leveä. Tunnistimet toimivat 6 – 30 V tasajännitteellä ja kuluttavat valmiustilassa 18 - 22 mA sähköä (12 voltin tasajännitteellä toimiessaan). Hälytyksen yhteydessä virrankulutus nousee hetkellisesti ja koko järjestelmän virrankulutus riippuu luonnollisesti PIR-tunnistimeen kytketyn oheislaitteen virran kulutuksesta. Samoin kuin kameroissa, myös PIR-tunnistimien kovien pakkasten kestävyys saavutetaan sisäisillä lämmitinelementeillä, jotka lisäävät laitteen tehonkulutusta esimerkiksi kahdella watilla -40 °C pakkasessa. [67], [24]

Saatavilla on myös *langattomia* PIR-tunnistinjärjestelmiä, joissa keskusyksikköön voidaan yhdistää 9V paristolla varustettuja PIR-tunnistimia. Langaton PIR-tunnistin välittää havainnon keskusyksikön vastaanottimelle 868 MHz taajuudella enimmillään 200 metrin etäisyydeltä ja kykenee toimimaan $-20\text{ °C} - +35\text{ °C}$ lämpötiloissa. Tällainen langaton PIR-tunnistin pysyy toimintakuntoisena yhdellä paristolla noin puolitoista vuotta (vrt paristoilla toimiva palo-varoitin). [6]

¹³ Kaikkien valmistajien tuotteita ei ole IP-luokiteltu.

Vaikka passiiviset infrapunatunnistimet ovat yksinään verrattain luotettavia, uudemman mallisissa tunnistimissa on infrapunatunnistuksen lisäksi käytössä myös ultraääni- tai mikroaaltotutka. Tutka on sisällytetty PIR-tunnistimeen yleensä varmentavaksi havainnointilaitteeksi virrehälytysten vähentämiseksi. Tutka keilaa huoneen aina muutaman sekunnin välein, laskee lähettämänsä ja takaisin heijastuneen signaalin välisen ajan ja näin kartoittaa huoneen sisällön muistiinsa. Mikäli heijasteen paluuaika on muuttunut edellisestä keilauksesta, tutka huomaa muutoksen huoneen sisällössä. Laite aiheuttaa hälytyksen, mikäli sekä tutka että infrapunatunnistin on havainnut liikettä. [45] Mikroaaltotutka on aktiivinen osasensori ja tekee tunnistimen toiminnasta havaittavan, joten mikroaaltotutkalla varustettuja PIR-tunnistimia ei sisällytetä tarkasteluun.

3.4. Muihin herätteisiin reagoivia sensoreita

Äänianturit eli mikrofonit

Ääni on muutoksia ilmanpaineessa eri voimakkuuksilla ja taajuuksilla. Painetta SI-järjestelmässä mitataan Pascleina, joka kuvaa yhden Newtonin voimaa neliömetrillä. Ihmisen kuulokynnystä vastaava ilmassa etenevän ääniaallon vertailupaine on tavallisesti 20 μPa ($=0,00002 \text{ Pa}$) ja äänen nopeus ilmassa normaaliolosuhteissa¹⁴ on 343 m/s. Äänen aiheuttaman paineen eroa vallitsevasta ilman paineesta sanotaan äänenpainetasoksi (engl. sound pressure level, ”SPL”), jonka yksikkö on desibeli (dB). Äänenpainetason 0dB taso on kuulokynnystä vastaavan ääniaallon vertailupaine. Äänenpainetasoa mitataan logaritmisella asteikolla, jossa 10 dB:n nousu tarkoittaa äänen voimakkuuden kaksinkertaistumista ja 20 dB:n nousu sen kymmenkertaistumista [14]. Äänen aiheuttama paine-ero ilmanpaineeseen nähden on hyvin pieni, esimerkiksi puheäänen aiheuttama paine-ero on noin miljoonasosa normaalista ilmanpaineesta [69]. Ääni vaimenee vapaassa tilassa ilmassa edetessään siten, että etäisyyden kaksinkertaistuessa äänenpaine pienenee 6 dB [62].

Mikrofonit mittaavat äänen aiheuttamia ilmanpaineen muutoksia ja muuntavat sen analogiseksi jännitteen vaihteluksi. Dynaamisen mikrofonin toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon, jossa äänen paine liikuttaa magneettia käämin sisällä. Tämän seurauksena käämin päihin indusoituu heikko vaihtojännite, joka vahvistetaan [17]. Kondensaattorimikrofonin toiminta perustuu jännitteellä (yleensä 48 V) varattuun kondensaattoriin, jonka toista levyä äänen paine liikuttaa muuttaen näin kondensaattorin kapasitanssia ja sähkövarausta. Mikrofonin herkkyys ilmaistaan jännitteenä paineen suhteen (mV/Pa), jolla kuvataan sitä kuinka paljon induktiojännite muuttuu paineen yksikön muutoksen suhteen. Mikrofonin rakenteesta tai sen hyödyntämisestä tekniikasta riippuu myös taajuusalue, jolta se poimii ääniä. Ihmisen korva

¹⁴ Ilman paineen ollessa 1,013 bar ($=101\,300 \text{ Pa}$) ja lämpötila $+20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

kuulee äänet 50 – 20 000 Hz:n taajuuksilta [49]. Mikrofonit voidaan valmistaa rakenteellisesti sellaiseksi, joka poimii ääniä kaikkialta ympäriltään yhtä tehokkaasti tai suuntaavaksi, jolloin se poimii vain tietystä suunnasta tulevat äänet. [17]

Valvontakäyttöön tarkoitetut mikrofonit on tarkoitettu yleensä täydentämään videokameran tuottamaa kuva-aineistoa ääniraidalla tai itsenäiseen ääniaineiston keruuseen. Tällaiset mikrofonit ovat yleensä esimerkiksi seinään asennettavia, toimivat 12 V tasajännitteellä ja kuluttavat 10 – 40 mA virtaa [35], [29]. Käsikäyttöiset mikrofonit ja kuuntelulaitteet on yleensä tarkoitettu reporttereille haastattelujen taltioimista varten ja yksityisetsiville salakuuntelulaitteiksi. Tällaisia mikrofoneja on pienistä, sytyttimen kokoisista mikrofoneista suuriin parabolisiin suuntamikrofoneihin saakka, joilla pystyy kuuntelemaan puheääntä olosuhteista riippuen aina 60 - 150 metrin etäisyydelle saakka [41]. Tällaiset mikrofonit toimivat paristoilla ja niiden toiminta-aika yhdellä paristokerralla on noin 25 - 300 h [64].

Magneettianturit

Magneettiantureita on saatavilla erilaisiin, yleensä teollisuuden ja liikennevalvonnan tarpeisiin ja magneettianturit hyödyntävät erilaisia teknologioita, jotka mittaavat magneettikentän tiheyttä, voimakkuutta tai suuntaa. Pääosin antureita kuitenkin on saatavilla vain erillisinä antureina (yleensä mikropiireinä), eikä esimerkiksi valmiina ajoneuvontunnistulaitteina. Pääosa teollisuuskäyttöön suunnitelluista magneettiantureista tunnistavat metalleja vain muutamien senttimetrin etäisyydeltä. Antureiden käyttö edellyttää elektroniikan tuntemusta, mutta niiden avulla on mahdollista rakentaa hyvin vähävirtainen ja herkkä esimerkiksi ajoneuvon aiheuttaman maan magneettikentän muutosta mittaava tunnistuspiiri. Antureiden käyttölämpötila yltää esimerkiksi -40 °C - +150 °C alueelle [1], [73] ja toimintaperiaatteidensa mukaisesti ne on mahdollista koteloida vesitiiviiksi esimerkiksi muovikuoriin, joka ei häiritse magneettikentän tunnistusta.

Magneettikentän muutoksia tunnistava anturi voidaan upottaa oletetulle ajouralle tai sijoittaa tien sivuun. Autojen aiheuttama muutos maan magneettikentässä voidaan tunnistaa sensorista riippuen jopa 15 metrin etäisyydeltä ja metrin etäisyydeltä ilman monimutkaisia suodatin- ja vahvistinpiirejä [51].

Seismiset anturit

Seismiset anturit (”Geofonit”) aistivat maanpinnan liikettä ja tärähtelyä ja muuttavat sen sähköksi. Seismisen anturin toiminta perustuu massan liikkeen hitauteen ja sähkömagneettiseen induktioon. Seismisessä anturissa on esimerkiksi herkkien jousien varassa roikkuva painava magneettinen sauva, joka pyrkii pysymään paikallaan sitä ympäröivän käämilangan liikkuessaa maan tärähtelyn seurauksena. Käämilangan sisällä liikkuva magneettisauva synnyttää käämin päihin pienen sähköisen vaihtojännitteen, joka voidaan mitata, vahvistaa ja jonka suuruus on suhteessa tärähtelyn (magneetin liikkeen) voimakkuuteen [26]. Geofoni ei varsinaisesti kuluta sähköä yhtään, vaan se tuottaa aiheuttamansa signaalin sähkömagneettisen induktion periaattein. Ainoastaan anturin antamaa signaalia vahvistava ja mahdollisesti sitä tulkitsevat piirit kuluttavat sähköä.

Kytkemällä samaan järjestelmään eri paikkoihin sijoitettuja seismisiä antureita liikkeen suunta voidaan laskea jollain tarkkuudella eri antureiden ilmoittamien jännitevaihteluiden viiveestä [26]. Mikäli maa-aines olisi täysin homogeenista tai sen rakenne tunnettaisiin täsmälleen, myös etäisyys voitaisiin laskea näillä perusteilla. Laitteeseen sisällytettävä prosessori pystyisi joko jättämään saadun herätteen huomiotta tai antamaan hälytyksen perustuen tulkittuun tärähtelyyn.

Yleensä sotilastoiminnan kannalta merkityksellinen tärähtely sijoittuu taajuudeltaan välille 5 – 20 Hz [55] ja toisin kuin seismologiassa, sotilastoiminnassa mielenkiinto kohdistuu vain 2-ulotteisella pinnalla paikannettavaan värähtelyyn eikä värähtelylähteen syvyydellä ole merkitystä. Seismisten sensoreiden etuina on niiden vähäinen virran kulutus ja se, että niihin pystytään sisällyttämään ”älyä” virrehälytysten vähentämiseksi, koska maan pinnalla etenevät tärähtelyallot ovat helpommin luokiteltavissa, kuin esimerkiksi ilmassa etenevät ääniaallot [2]. Tärähdysten aiheuttamien jännitearvojen vaihteluiden keston ja toistumistaajuuden perusteella voidaan tärähdysten aiheuttaja luokitella mikroprosessoriin sisällytettävän muistikirjaston perusteella, esimerkiksi juoksevaksi ihmiseksi [84].

Savutunnistimet ja palovaroittimet

Savutunnistimia käytetään kotikäytössä palovaroittimissa. Savutunnistimet perustuvat kahteen erilaiseen tekniikkaan; elektro-optiikkaan tai ionisaatioon. Tekniikasta riippumatta molemmat reagoivat savupartikkelien tunkeutuessa varoittimen sisälle ja jotkut palovaroittimet hyödyntävät molempia tekniikoita [8]. Elektro-optisessa tunnistimessa hälyttimen sisällä oleva valotunnistin havaitsee savuilmasisimen sisään päässeestä savusta siroavan valon säteen. Kirkkaassa ilmassa valo ei siroa mistään ja valon säde ohittaa valotunnistimen. Ionisaatioon perustuvassa sensorissa on hyvin pieni määrä¹⁵ radioaktiivista ainetta, Americum-241:stä. Radioaktiivinen aine ionisoi jatkuvasti happi- ja typpiatomeita, mikä aiheuttaa laitteen sisällä olevissa, sähköisesti varattujen tunnistinlevyjen välissä sähkövirran, jonka suuruuden laite tunnistaa. Savuhiukkaset häiritsevät tätä virtaa ja heikentävät syntyneen sähkövirran suuruutta. Ionisaatioon perustuvat savuhälyttimet ovat halvempia ja soveltuvat paremmin havaitsemaan pienempiä savumääriä kuin elektro-optiset palovaroittimet, jotka taas ovat parempia havaitsemaan kyteviä paloja. [20] Palovaroittimia voisi olla mahdollista käyttää ajoneuvojen pakokaasun tunnistamiseen, sillä ne aiheuttavat hälytyksiä pakokaasuista [82].

Yleensä palovaroittimien antama hälytys perustuu pelkkään kovaan äänimerkkiin, mutta saatavilla on myös palovaroittimia ja palovaroittimiin liitettäviä lähettimiä, jotka lisäksi lähettävät hälytyksen myös radiotaajuuksilla¹⁶ muille samaan hälytysryhmään liitetyille palovaroittimille. Tällaiset palovaroittimet saadaan hälyttämään, vaikka vain yksi havaitsisi savua [44], [68]. Palovaroitin voidaan muuttaa äänimerkin sijaan kytkemään joku muu virtapiiri.

Palovaroittimien lisäksi on saatavilla *häkävaroittimia*. Häkävaroitin kykenee havaitsemaan häkää, jota mm ajoneuvojen pakokaasuissa esiintyy [54]. Kuitenkaan häkävaroittimia ei ole suunniteltu ulkokäyttöön, eikä niitä asennusohjeidenkaan mukaan tule sijoittaa rakennusten ulkopuolelle [63].

¹⁵ esimerkiksi 1/5000 grammaa

¹⁶ Esimerkkihälyttimet käyttävät 433 MHz ja 868–869 MHz taajuuksia

3.5. Sensoreiden tiedonsiirtomenetelmät

Vaatimukset tiedonsiirtokapasiteetille

Normaalilaatuisen TV-kuvan lähetys edellyttää noin 3,5 - 10 Mbit/s siirtonopeutta, edellyttäen että kuva on MPEG-2 pakattu [13], [23], pakkaamaton TV-tasoinen kuva vaatii noin 10 Mbit/s tiedonsiirtonopeuden [19] ja pakkaamaton digitaalinen videokuva¹⁷ vaatisi yli 28 Mbit/s siirtonopeuden [23]. Mentäessä teräväpiirtotarkkuuskuvan siirtämiseen, 19 – 20 Mbit/s riittää MPEG-2 pakatun HDV 720p videokuvan siirtoon [13]. Mikäli kuvan tarkkuusvaatimus edellyttää vain esimerkiksi havainnointia ja karkeaa tunnistamista, 128 – 384 kbit/s siirtonopeus riittää videoneuvotteluissa käytettävän laatuksen kuvan siirtämiseen [13]. Kaikki saatavilla olevat IP-kamerat pakkaavat kuvamateriaalin jonkinlaisella pakkaustoiminnolla ennen sen verkkoon siirtämistä. Ääni vaatii selvästi vähemmän tiedonsiirtokapasiteettia; 800 bit/s riittää tunnistettavan puheen siirtämiseen ja 8 kbit/s vastaa puhelinlaatuista ääntä [13]. Mikäli siirrettävänä on vain hälytyssignaali, joka tarvitsee tunnistaa vain ”päällä” tai ”pois päältä” – tarkkuudella tiedonsiirtokapasiteetin tarve laskee entisestään.

Kaupallisissa tuotteissa käytettävät tiedonsiirtomenetelmät

Kaupallisesti hankittavat sensorit välittävät pääosin hankkimansa tiedon johtimia ja kaapeleita pitkin, mutta osa käyttää radiotaajuuksia langattomaan tiedonsiirtoon. Analogisessa tiedonsiirrossa videokameran kuvan siirtoon käytettävä johdin on yleensä koaksiaalikaapeli tai kierretty parikaapeli. Ilman välivahvistimia siirtoetäisyys kaapeleilla saadaan maksimillaan pariin sataan metriin ja välivahvistimia käyttämällä noin kilometriin. Analogisen videokuvan siirrossa kuvan tarkkuus ja päivitysnopeus eivät heikkene, mutta siirtoetäisyyden kasvaessa kuvaan alkaa tulla häiriöitä, kuten vääristymiä ja kohinaa. [79]

Digitaalisen kuvan siirrossa johtimia pitkin voidaan käyttää SHDSL-modeemia (Single-pair High-speed Digital Subscriber Line) tai VDSL modeemia (Very-high-bitrate Digital Subscriber Line). Koska osa suomalaisista sotajoukoista käyttää tiedonsiirtoon parikaapeliyhteyksiä, on VDSL tai SHDSL-modeemi RJ-11 liitäntämahdollisuudella mahdollinen käytännön ratkaisu digitaalisen kuvan siirtoon. SHDSL:n mahdollistama enimmäisnopeus yhtä kupariparia käyttäen on käytettävästä modeemista riippuen 192 kb/s - 15,2 Mb/s molempiin suuntiin [58]. SHDSL soveltuu yhteyksiin, joissa siirretään dataa molempiin suuntiin (esimerkiksi kuvaa IP-kameralta käyttäjälle ja ohjauskomentoja käyttäjältä kameralle) [18]. SHDSL modeemilla voidaan parikaapeliyhteyttä käyttäen saavuttaa jopa 5-7 km:n yhteysetäisyyksiä, mutta yhteysetäisyyden kasvaessa myös suurin mahdollinen tiedonsiirtonopeus laskee esimerkiksi 192

¹⁷ 640 x 480 pikselin tarkkuus, 24 bittiä/pikseli värillä 30 ruutua sekunnissa

kpbs:ään [58]. VDSL:llä voidaan saavuttaa SHDSL:ää selvästi suurempia yhteysnopeuksia; enimmillään 52 Mbps yhteen suuntaan ja 16 Mbps toiseen suuntaan, mutta VDSL:ää rajoittaa lyhyemmät yhteysetäisyydet; parikaapelin pituus voi enimmillään olla noin 1,2 kilometriä [9]. Pääosin modeemit eivät ole tehty ulkokäyttöön, mutta saatavilla on myös teollisuuskäyttöön tarkoitettuja modeemeja, joiden alin käyttölämpötila on $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ [58].

Osa saatavilla olevista valvontakameroista on langattomia, jolloin ne lähettävät kuvamateriaalia yleensä 2,4 GHz:n tai 5,8 GHz taajuudella vastaanottimeen, joka on kiinteästi kytketty valvontamonitoriin, josta kuvaa katsellaan. Tämän lisäksi saatavilla on erikseen tavallisiin video- ja valvontakameroihin liitettäviä langattomia kuvamateriaalin lähettimiä ja vastaanottimia [47]. Tällaisilla pienikokoisilla¹⁸ lähettimillä saavutettava yhteysetäisyys on enimmillään noin 150 metriä. Tämä johtuu siitä, että tällaiset lähetimet ja vastaanottimet on tehty toimimaan lupavapailla taajuuksilla ja niiden lähetysteho on Euroopassa lain mukaan rajoitettu 100 mW:iin EIRP¹⁹ [7]. WLAN IEEE 802.11b signaalia (myös 2,4 GHz taajuudella) voidaan tehosta ulkokäyttöön tarkoitetuilla suuntaavilla antennilla²⁰, joilla voidaan saavuttaa enimmillään 1000 metrin kantama [2]. Euroopan ulkopuolelta on hankittavissa myös muille taajuusalueille suunnattuja videokuva-lähettimiä [25], joiden lähetystehot ovat huomattavasti suuremmat. 900 MHz taajuusalueella toimivalle, tosin suurikokoisimmalla²¹ videokuva-lähettimellä saatetaan saavuttaa jopa noin 11 km:n yhteysväli, ne on tarkoitettu ulkokäyttöön ja niiden toimintalämpötila yltää alimmillaan $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$:een [65].

Radiopuhelimet

Vain kameroiden ja mikrofoniin tuottama valvontatieto on kuvaa ja ääntä, jotka vaativat suuren tiedonsiirtokapasiteetin, kaikkien muiden edellä esiteltyjen sensoreiden tuottama tieto on ”havainto tai ei havaintoa” – tyyppistä tietoa. Radiopuhelimet mainitaan tässä yhteydessä vain siksi, koska ne ovat mahdollisia ja verrattain helppoja tapoja tehdä kaupallisesta havaintosensorista langaton sulkemalla sähköisesti sensorin hälytyskytkennällä radiopuhelimen tangentti-kytkentä.

¹⁸ Esimerkkilähetin toimii 100 mW teholla 2,4 GHz taajuudella ja on kooltaan 76x73x24mm ja painaa 82 grammaa

¹⁹ EIRP = ”Effective Isotropic Radiated Power”, joka tarkoittaa lähetystehon ja lähetysantennin vahvistuksen yhteistulosta. Lain mukaan antennin vahvistuksen kasvattaminen (suuntaaminen) edellyttää sisään syötettävän lähetystehon laskemista.

²⁰ esimerkkinä Celotron ZON4 +24dBi 802.11b/g ulkoantenni

²¹ esimerkkinä VideoComm Technologies:n DT-900 lähetin, joka painaa 900 grammaa.

Saatavilla on mm metsästäjille ja moottoripyöräilijöille suunnattuja radiopuhelimia, jotka ovat ulkokäyttöön suunniteltuja, vähintään roiskevesitiiviitä ja joiden toimintalämpötila yltää alimmillaan $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$:een. Radiopuhelimia valmistetaan VHF ja UHF taajuusalueille ja niiden hankinta sekä käyttö edellyttävät haettua lupaa viestintävirastolta [66], poikkeuksena on kuitenkin 446 MHz:n alueella (=PMR-taajuusalue, ”Personal Mobile Radio”), jolla toimivien radiopuhelimien hankinta ja käyttö ei edellytä lupaa. Lisäksi saatavilla on runsaasti PMR-taajuusalueella toimivia ”halpiksia”, jotka eivät ole kosteussuojattuja tai pakkaskestäviä, mutta joilla on kuitenkin saavutettavissa kahden kilometrin yhteysetäisyyksiä. [36]

3.6. Yhdistelmä

Valvontakamerat tuottavat käyttäjänsä tulkittavaksi havainnollisimman mahdollisen materiaalin, liikkuvan kuvan mahdollisella ääniaineistolla. Valvontakameroiden rasitteena on kuitenkin niiden rajoittunut toiminta pimeällä, vaikkakin osa kameroista on varustettu infrapunavaloilla, niiden käyttö on sotajoukkojen käyttämällä pimeänäkökalustolla helposti havaittavissa. Lisäksi kameroiden käyttöä rajoittaa niiden ja kuvan siirtoon tarkoitettujen lähettimien korkea virrankulutus, mikä tarkoittaa sitä että joko kameroille on saatava jatkuva virransyöttö tai akkukäyttöisiä kameroita on kyettävä sammuttamaan ja käynnistämään tarpeen mukaan pitääkseen kokonaisvirrankulutus järkevällä tasolla. Valvontakameroiden toiminta ei varsinaisesti rajoitu suomalaisissa olosuhteissa esiintyviin pakkasiin, mutta sumu ja sateet sekä kameran linssiin kertyvä lumi heikentävät kameroiden *käytettävyyttä*.

Videokuvaa tuottavien kameroiden eri tarkoituksiin valmistettavat sovellukset avaavat useita mahdollisuuksia; minikameroita ja action-kameroita on mahdollista kiinnittää esimerkiksi RC-lennokkeihin ja hankkia ”UAV:maista” kuvamateriaalia joko reaaliajassa noin kilometrin etäisyyksiltä tai viiveellä suuremmiltakin etäisyyksiltä. Muutamilla sovelluksilla reaaliaikaisen videokuvan siirto suuremmillekin etäisyyksille kaupallisella teknologialla olisi toteutettavissa. Action-kamerat tuottavat erittäin korkealaatuista, täyttä HD tasoista kuvaa. Kaupallisesti saatavilla olevat lämpökamerat tietysti tuottavat lämpökameroilla saavutettavat edut, kuten havaitsemismahdollisuudet täysin pimeässä, vaikeivät kuvapäiden resoluutiot tai kuvan toistotaajuudet vastaakaan sotilaskäyttöön tarkoitettuja lämpökameroita.

Riistakamerat tuottavat korkearesoluutioisia valokuvia tai heikompioresoluutioisia videopätkiä. Vaikka osa kameroista on varustettu GSM-verkossa toimivilla lähettimillä, pääsääntö kuitenkin on, että kuvat on käytävä hakemassa fyysisesti paikan päällä. SD-muistikorttipaikkoihin on kuitenkin jo nyt saatavilla lähettimiä, jotka siirtävät SD-kortille tulevan aineiston välittömästi WLAN-verkkoon²² [28]. Kameroiden eduksi on laskettava erittäin pitkä valmiusaika yhdellä paristokerralla. Koska kamerat reagoivat kamerassa olevan PIR-tunnisteen antamaan herätteeseen, kuvattavat kohteet ovat yleensä vain alle 10 metrin etäisyydellä kamerasta. Tämä pienentää kameran valvoman alueen kokoa, mutta tuottaa erittäin yksityiskohtaisia ja tunnistuskelpoisia kuvia. Voisi kuitenkin olettaa, että kameran sisäinen PIR-tunnistin olisi ohitettavissa ja korvattavissa esimerkiksi ulkoisella tunnistimella, jonka hälytysalue voitaisiin viedä kauemmas kamerasta. Samoin kuin näkyvän valon alueella toimivia videokameroita, myös riistakameroiden *käytettävyyttä* rajoittaa sumu, sateet ja kameran eteen kertyvä lumi sekä myös pimeällä käytettävien infrapunavalojen havaittavuus ja äärimmäiset pakkasolosuhteet.

Passiiviset infrapunatunnistimet tuottavat liikkeen tunnistavaa tietoa. Osa saatavilla olevista tuotteista kestää helposti suomalaisia pakkas- ja sääolosuhteita ja järjestelmän etuina ovat sen vaikea havaittavuus ja vähäinen virran kulutus. PIR-tunnistimia on saatavilla eri levyisiä ja pituisia valvonta-alueita varten ja pisimmillään valvonta-alue yltää jopa 150 metriin, joten PIR-tunnistimilla valvottava alue on varsin suuri. PIR-tunnistimien heikkoutena on se, että ne eivät erottele liiketunnistuksen aiheuttamaa kohdetta, joka voi olla sotilas, ajoneuvo tai metsäneläin eikä tunnistimesta saatavan tiedon perusteella käyttäjäkään pysty kohdetta tunnistamaan.

Valvontakäyttöön tarkoitetut mikrofonit pystyvät valvomaan sotilaskohteita valvoessaan suuren alueen ja havaitsemaan mm ylitse lentäviä lentokoneita ja helikoptereita koska näiden tuottama äänen voimakkuus on varsin suuri. Vahvuuksina on, ettei pimeys tai sumu haittaa sensorityypin toimintaa ja äänitietojen siirtäminen edellyttää pienempää tiedonsiirtokapasiteettia, kuin videokuvan siirtäminen. Kovat pakkaset kuitenkin heikentävät mikrofonien kalvojen liikkuvuutta ja siten niiden toimintaa erittäin kylmissä olosuhteissa. Mikäli mikrofoneista halutaan niiden täysi mahdollinen hyöty, tämä edellyttää vähintään äänen siirtoon riittävän siirtokapasiteetin käyttöä. Kuitenkin ilman lähetettä valvovaa ja tunnistavaa henkilöstöä tieto on hyödytöntä. Lisäksi nimenomaan äänitiedon lähettäminen edellyttää tehosyöppöjen lähetinlaitteiden käyttämistä ja laitteita tulisikin käyttää vasta heikompitehoisilta sensoreilta saadun herätteen jälkeen. Useammasta mikrofonista koostuvalla laitteistolla, jossa on äänitietoja käsittelevä prosessori, pystytään varsin pienikokoisella järjestelmällä laskemaan äänilähteen sijainti ääniaaltojen ilmassa tapahtuvan hitaan etenemisnopeuden takia ja yhdistettynä

²² Esimerkkinä "Eye-fi" Wi-fi verkossa lähettävä SD-kortti

esimerkiksi seismisiltä sensoreilta saatuihin tietoihin, kohde on mahdollista luokitella [80]. Heikkoutena mikrofoneilla on, että ne reagoivat kaikkeen ääneen (kuten sotilaskohteisiin, mutta myös luonnon ääniin) ja ainoastaan sensorin aistiman äänenvoimakkuuden kynnystä pystytään säätämään.

Magneettianturit reagoivat kohteiden aiheuttamiin muutoksiin esimerkiksi maan magneettikentässä. Magneettiantureiden etuina on, että ne eivät reagoi metsän eläimiin, vaan kohteisiin joiden mukana on riittävä määrä metallia magneettikentän muuttamiseksi. Magneettiantureiden etuina ovat myös erittäin alhainen virran kulutus ja hyvät edellytykset kestää suomalaisia sää- ja pakkasolosuhteita. Heikkoutena on, että ilman huippuherkkiä tunnistimia ja monimutkaisia suodatinpiirejä magneettisensorien tunnistusetaisyys rajoittuu muutamisiin metreihin. Magneettiantureita voidaan käyttää muiden, tarkempaa tietoa tuottavien sensoreiden herätteeksi.

Seisminen sensori, eli geofoni kuuntelee maanpinnan tärinää. Seisminen sensori pystyy havaitsemaan kohteen useiden kymmenien metrien päästä, kuluttaa hyvin vähän virtaa ja siten soveltuu hyvin tarkempaa tietoa tuottavien sensoreiden herätesensoriksi. Seisminen sensori on kameran jälkeen useimmiten sotilaskäytössä hyödynnetty sensortyyppi.

Savutunnistimia ja palovaroittimia on mahdollista käyttää havaitsemaan moottoriajoneuvojen liikennettä esimerkiksi tieurilla. Näiden sensoreiden vahvuus on erittäin pieni virran kulutus sekä siitä johtuva yli vuoden pituinen toiminta-aika yhdellä paristokerralla sekä kyky tunnistaa savua, jota ei luonnollisesti maastossa esiinny. Kaupallisten palovaroittimien heikkoutena on, että niitä ei yleensä ole tarkoitettu ulkokäyttöön ja vain harvat on suunniteltu toimimaan pakkasolosuhteissa sekä pakokaasun tunnistusetaisyys ulkoilmaolosuhteissa rajoittuu muutama metriin, koska savu haihtuu ulkoilmaan verrattain nopeasti.

Arvioitaessa eri sensoreiden käyttökelpoisuutta on suorituskyykyjen ja teknisten ominaisuuksien lisäksi pohdittava myös niiden sijoittamista, liikuteltavuutta, ylläpitoa sekä mahdollista yhteiskäyttöä [76]. Jotta sensorilla pystyttäisiin korvaamaan ihminen taistelukentän valvontajärjestelmänä, tulee sen pystyä tuottamaan ihmistä tarkempaa tietoa, olla ihmistä vaikeammin havaittavissa tai häiritävissä, tuottaa tietoa laajemmin käytettäväksi ja/tai olla kevyemmällä järjestelyillä huollettavissa, kuin vastaavaa tehtävää suorittava ihminen. Perusteluna sensorin käyttöön ihmisen sijaan saattaa riittää pelkästään tehtävän vaarallisuus tai jopa sen tylsyys.

Alla olevassa taulukossa on tiivistetysti arvioitu erilaisten sensorijärjestelmien hyviä ja huonoja puolia muutaman kokonaisuuden kannalta. Arviointi on karkea ja järjestelmät on lähinnä suhteutettu toisiinsa. Eri järjestelmiä on mahdollista arvioida tarkemminkin ja paljon kattavammin, mutta tämä edellyttäisi kokeita ja pitkäaikaisempaa seuranta. Käytettävyyttä vuoden kaikkina päivinä arvioitaessa laitteiden suorituskykyä ja tekniikkaa verrataan luvussa 2.2 esitettyihin suomalaisiin sääolosuhteisiin. Arvioitaessa käytettävyyttä vuorokauden kaikkina aikoina laitteiden hyödyntämän tekniikan suorituskykyä verrataan suomalaisiin valaisuosuhteisiin (luku 2.2). Tiedon luotettavuutta ja tunnistettavuutta arvioidaan sanallisesti verraten sensorista saadun havainnon tulkittavuutta valvovan henkilöstön päässä. Kestoa ja virrankulutusta arvioidaan sanallisesti suhteessa siihen, kauanko järjestelmä toimii yhdellä akkutäytöllään tai kuinka vähällä virralla laite toimii ollessaan valmiustilassa. Valvottavan alueen kokoa arvioidaan sanallisesti perustuen yhdellä sensorilla valvottavan alueen kokoon (pinta-alaan).

Valvontalaite / -järjestelmä	Käytettävyys vuoden kaikkina päivinä (pakkanen, sumu, sade)	Käytettävyys vuorokauden kaikkina aikoina (pimeys)	Tiedon luotettavuus/ tunnistettavuus	Kesto / virrankulutus	Valvottavan alueen koko/ laajuus
Videokamerat	>95 %	57 % (*2)	kiitettävä	heikko	laaja
Riistakamerat	85 %	57 % (*2)	hyvä	kiitettävä	suppea
PIR-tunnistimet	100 %	100 %	heikko	hyvä	laaja
Äänianturit	85 % (*1)	100 %	heikko	heikko	laaja (*4)
Magneettianturit	100 %	100 %	hyvä (*3)	hyvä	suppea
Seismiset anturit	> 95 %	100 %	hyvä	hyvä	keskisuuri
Selitteet: (*1) = vaikka vain kovat pakkaset rajoittavat valvontakäyttöön tarkoitettujen mikrofonioiden toimintaa, kova sade häiritsee niitä aiheuttamalla kovan taustamelun, joka saattaa aiheuttaa virrehälytyksiä tai peittää alleen oikean äänen. (*2) = vaikka osa kameroista on varustettu IR-valoilla, niistä saatava hyöty jätetään laskematta, koska infrapunavalon on helppoa havaita kaikilla sotilaskäytössä olevilla pimeänäkölaitteilla (*3) = Tunnistettavuus on hyvä, koska vain metallia sisältävät maalit aiheuttavat herätteen. Usein tämä on riittävä heräte jatkotoimenpiteiden käynnistämiseksi (*4) = Mikrofonioiden valvoma alue on laaja, mutta sisältää paljon virheellisiä herätteitä.					

Taulukko 1: Erilaisten tutkittujen sensorijärjestelmien suorituskykyä verrattuna toisiinsa.

4. MAHDOLLISET KÄYTTÖSOVELLUKSET

Tutkimuksen johtopäätöksinä on esitetty tutkittujen kaupallisten tuotteiden muutamia mahdollisia käyttösovelluksia. Johtopäätöksissä yhdistetään tutkituista laitteista saatuja tietoja käytössä oleviin suomalaisten joukkojen taktisiin tai taisteluteknisiin tiedossa oleviin ohjeisiin ja toimintatapoihin.

4.1. Kulunvalvontapisteelle

Kulunvalvontapiste perustetaan yleensä komentopaikkojen yhteyteen. Sen tehtävänä on pääsääntöisesti valvoa, ettei valvottavalle alueelle suuntaudu turhaa liikennettä, joka aiheuttaa ylimääräisiä ruuhkatilanteita muutenkin harvalla ja paljon käytetyllä tieurastolla. Kulunvalvontapisteelle suuntautuu pääsääntöisesti omien joukkojen liikennettä, mutta tarvittaessa sen tulee pystyä aloittamaan alueen puolustaminen myös vihollisjoukoilta.

Kulunvalvontapiste sijaitsee yleensä alueella, jossa jatkuvaa vihollisuhkaa ei ole ja huoltoliikenne alueella on turvallista järjestää. Tällaisella paikalla tulija tarvitsee yleensä tunnistaa esimerkiksi perinteisellä menetelmällä, tunnussanaa käyttäen tai kehittyneemmissä tapauksissa suoraan esimerkiksi ajoneuvon tunnusnumerosta tai tulijan kasvoista. Mikäli tulijalla on lupa tulla alueelle, mahdolliset vartiopaikan yhteyteen rakennetut vastatoimet jätetään käyttämättä ja yleensä merkiksi luvallisesta sisään pääsystä avataan esimerkiksi tien tukkeena ollut portti tai puomi. Tulijalla saattaa lisäksi olla kulunvalvontapisteen vartiomieheltä kysyttävää, esimerkiksi ohjeita komentopaikan löytämiseksi.

Kulunvalvontapisteelle pystytään hyödyntämään runsaastikin sähköä kuluttavia laitteita, koska komentopaikkojen yhteydessä sähköntuotto on yleensä järjestetty kenttä sähköverkolla ja varavirtalähteiden täydentäminen on vaaratonta järjestää. Kulunvalvontapisteelle sopiva järjestely olisi esimerkiksi PIR-tunnistin, joka aktivoisi valvontapaikalla olevan kameran ja hälyttäisi valvontakeskuksessa olevan vartiomiehen. Tulijan tunnistaminen sekä tämän mahdollisesti tarvitsemat ohjeet käytäisiin videokameran ja siihen liitetyn mikrofoniin ja kaksisuuntaisen kaiuttimen välityksellä (vrt ovisummeri, johon molemmat osapuolet voivat puhua). Mikäli tulija päästetään sisälle, valvontakeskuksessa oleva vartiomies deaktivoisi tulouralle mahdollisesti valmistellut vastatoimenpiteet ja antaisi tulijalle luvan jatkaa. Kulunvalvontapaikkojen tiedonsiirto kulunvalvontapisteen ja valvontakeskuksen välillä on mahdollista toteuttaa kaapeleita käyttäen, sillä siirtoetäisyydet eivät yleensä ole pitkiä ja kaapeleihin perustuva tiedonsiirto paljastuu elektroniselle tiedustelulle aina heikommin, kuin radiotaajuuksilla tapahtuva tiedonsiirto.

4.2. Vartiopaikoille

Vartiopaikalla tässä yhteydessä tarkoitetaan esimerkiksi ryhmän pesäkkeen vartiopaikkaa, jossa selustan puolella on lähimpien omien joukkojen ryhmitystä ja etupuolella mahdollisesti vihollisen käyttämää maastoa. Pesäkkeen vartiopaikan kautta on tarkoitus suunnata kaikki omien joukkojen (tiedustelupartioiden) liike ryhmityksen etupuolelle ja sieltä pois, jolloin vartiopaikan tehtävänä on tunnistaa tulijat ja laskea heidät alueelle tai tarvittaessa käynnistää vastatoimenpiteet ja antaa hälytys ryhmitysalueella. Tulijoiden tunnistaminen tapahtuu joko tunnusanaa tai lähestymistunnusmerkkejä käyttäen tai jopa tulijoiden ulkonäöstä tai äänestä, koska yleensä vartiomies ja palaava tiedustelija ovat toisilleen tuttuja.

Pesäkkeen vartiopaikka on pääosan ajasta toimeton ja siinä toimiminen koetaan turhauttavaksi, jopa tylsäksi. Vartiovuoron pituus vartiomiehellä on noin puolesta tunnista kahteen tuntiin ja esimerkiksi talvipakkasilla pitkiä vartiovuoroja vältetään. Vartiovuoron alku kuluu aina ”totutteluun” ja pimeällä esimerkiksi pimeänäkökyvyn muodostumiseen. Vartiomiehen tulee jatkuvasti tarkkailla etumaastoa ja välttää paljastamasta mahdolliselle viholliselle itseään esimerkiksi liikkumalla, äänтелеillä tai tupakoimalla. Pahimmassa tapauksessa pesäkkeen vartiopaikan kohtaa jopa vihollisen hyökkäysryhmitys.

Pesäkkeen vartiopaikallakin pystytään hyödyntämään verrattain runsaasti sähköä kuluttavia järjestelmiä, koska virtalähteiden vaihtaminen on mahdollista järjestää säännölliseksi muun toiminnan vaarantumatta. Joukkueetasolla useamman pesäkkeen vartiointi voitaisiin hoitaa keskitetysti yhdestä valvontakeskuksesta, jonne viestiyhteydet edelleen voitaisiin hoitaa kaapeleita käyttäen lyhyiden etäisyyksien ja pienemmän paljastumisriskin vuoksi. Mahdolliseksi ongelmaksi ryhmä-joukkueetasolla voi muodostua virtalähteiden lataamistoiminnan järjestäminen, mistä johtuen käytettävien laitteiden tulisi hyödyntää standardiparistoja. Pesäkkeen vartiopaikalle sopiva valvontalaitteisto voisi esimerkiksi olla useampi passiivinen infrapunatunnistin kattavamman havainnointiverkon luomiseksi, yksi ohjattava videokamera, joka aktivoituisi PIR-tunnisteiden herätteestä ja osoittaisi ennalta määrättyyn tunnistamispaikkaan sekä etukäteen rakennetut vastatoimet, jotka onnistuneen tunnistuksen jälkeen voidaan valvontakeskuksesta kytkeä lyhyeksi aikaa pois päältä. Tulijoiden tunnistaminen olisi tarvittaessa mahdollista automatisoida käyttäen joko mukana kannettavaa RFID-tunnistinta tai moduloituun infrapunälähtetimeen perustuvaa kaukosäädintä. Yleensä tulijat eivät kysy pesäkevartiomiehiltä ohjeita, joten kaksisuuntaista puheliikennöintimahdollisuutta tuskin tarvittaisiin.

4.3. Tähystyspaikalle ja liikenteen laskentaan

Tähystyspaikka tässä yhteydessä tarkoittaa tiedusteluryhmien tai tulenjohtoryhmien perustamaa tähystyspaikkaa, josta tapahtuvalla tähystyksellä on tarkoitus tarkkailla ja tehdä havaintoja tietyllä alueella tapahtuvasta toiminnasta ja tarvittaessa pystyä vaikuttamaan sinne. Lähtökohtaisesti tähystyspaikan tulee pysyä salassa tarkkailtavilta joukoilta ja joissain tapauksissa (liikenteen laskupaikoilla) tiedustelijoiden tulee pystyä valvomaan alueella tapahtuvaa liikennettä myös lukumääräisesti eli laskemalla esimerkiksi siellä esiintyviä ajoneuvoja.

Vartiopaikan tapaan myös pääosa tähystyspaikan toimintaan käytettävästä ajasta on ”turhaa”, jolloin kohdealueella ei varsinaisesti tapahdu mitään. Tähystäjiä on kuitenkin oltava jatkuvasti tarkkana, koska liike kohdealueella alkaa yllättäen ja nopeasti ja on ohi yhtä nopeasti.

Tähystyspaikalle sopivaa valvontalaitteistoa voisi olla esimerkiksi kohdealueelle sijoitetut seismiset, magneettiset tai muut vähävirtaiset ja helposti piilotettavat herätesensorit, jotka liikettä havaittuaan aktivoisivat valvontakameran videomateriaalin seuraamista varten. Valvontakamera voisi olla joko tähystyspaikalle sijoitettu, suurella objektiivilla varustettu kiinteä videokamera tai selvästi lähemmäs kohdealuetta sijoitettu pienikokoinen ja naamioitu videovalvontakamera. Materiaalia seurattaisiin lähialueelle, mutta suojaisampaan maaston kohtaan perustetusta valvonta-asemasta. Valvonta-asemassa saadut havainnot välitettäisiin joko reaaliajassa tai muilla viestivälineillä tarvitsijoille tai sieltä käynnistettäisiin mahdolliset vastatoimenpiteet, esimerkiksi tulikomento tukeville tuliyksiköille. Tähystyspaikoilla tiedonsiirtoon voitaisiin käyttää joko kaapeleita tai haluttaessa välttää alueelle tehtäviä jälkiä, radiolähtimiä voimakkaasti suuntaavilla antennilla. Lähtökohtaisesti tähystyspaikoilla tulisi käyttää tekniikoita, joita ei tarvitsisi täydentää useammin, kuin kerran parissa vuorokaudessa. Näillä järjestelyillä yksi ryhmä pystyisi yhdestä valvonta-asemasta valvomaan esimerkiksi 1 – 4 erillistä aluetta kerrallaan.

Liikenteen laskutehtävissä tulosten varmistamiseen voitaisiin käyttää erillistä alueelle sijoitettua riistakameraa, joka tarkastettaisiin aina tarpeen vaatiessa.

4.4. Tiedustelijaksi

Tiedustelijatehtävällä tässä yhteydessä tarkoitetaan tehtävää, jossa tiedustelijalle annetaan alue, josta tietoa tulee hankkia. Tiedustelijat lähtevät selvittämään yleensä alueella olevien vihollisten määrää, laatua, toimintaa ja ryhmittymistä tai suuntautumista tai erillisiä alueellisia olosuhteita esimerkiksi pioneeritiedustelumielessä. Tiedustelutehtävien hoitaminen sensorijärjestelmillä edellyttää järjestelmiltä liikuteltavuutta tarpeen mukaan, yleensä muutenkin kuin mukana kantamalla.

Lennokkiharrastajien keskuudessa on muutamien vuosia sitten alkaneessa suuntauksessa rakennettu itsenäisesti liikkuvia tai lentäviä järjestelmiä (”droneja”), joihin liitetään erilaisia sensoreita ja mikroprosessoreita sekä vastaanottimia. Tämän ”keinoälyn” myötä järjestelmään voidaan kannettavan tietokoneen välityksellä ohjelmoida toivottu reitti. Laite lähtee kulkemaan sitä itsenäisesti väistellen eteen sattuvia, yllättäviäkin esteitä ja viipyen eri reittipisteissä toivotun aikaa palaten lopuksi ohjelmoituun paluupisteeseen. Laitteiden erikoisuutena on, että ne hoitavat kaiken liikkumisen ja ohjauksen itsenäisesti ja yleensä jatkuvasti lähettävä maa-asemalleen esimerkiksi videokuvamateriaalia mukaan sisällytetyiltä kameroiltaan. Tarvittaessa laitetta voi ohjata maa-asemalta tai sen voi käskä siirtymään suoraan päätepisteeseen maa-asemalta lähetettävällä komennolla. Tällaisia laitteita myydään erillisinä rakennussarjoina ja niiden ”laajennusosina” [27] sekä valmiina järjestelminä [39] ja sähkömoottoreilla toimivat lennokit ovat lentäessään hyvin hiljaisia.

Tällaisia automaattisia järjestelmiä olisi mahdollista hyödyntää suoraan ”lyhyen kantaman” nopeissa tiedustelutehtävissä, kuten komppanian ja pataljoonan hyökkäysalueen tiedustelussa tai puolustustaistelutilanteessa paikannettaessa maaleja vihollisen hyökkäysryhmyksen selustasta. Pienet lennokit ovat vihollisen vastatoimille vaikeasti havaittavissa ja häiritävissä olevia maaleja. Järjestelmä olisi hyödynnettävissä myös puolustusvoimien rauhanajan tehtävissä, kuten kadonneiden etsinnässä.

LÄHTEET

- [1] AD22151 Magnetic field sensor datasheet.
- [2] Anderson, Thomas S., Ketcham, Stephen A., Moran, Mark L., Greenfield, Roy J. "FDTD Seismic Simulation of Moving Battlefield Targets", 2001.
- [3] Celotron.com verkkokaupan tuotekuvasto 2001 sivu 23.
http://www.celotron.com/new/pdf/KUVASTO_1_2011_pieni.pdf (25.4.2011).
- [4] DEFENCE UPDATE lehti nro 1 2006 ja <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/rembass.htm> (22.2.2011).
- [5] EUROPEAN CLIMATE ASSESSMENT & DATASET (ECA&D), Klein Tank, A.M.G. and Coauthors, Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. Int. J. of Climatol., 22, 1441-1453. <http://eca.knmi.nl/> (3.3.2011).
- [6] Friedlands Produktkatalog-Nyheter 2008
<http://www.sahkobit.fi/verkkokauppa/tiedostot/Spectra-libra-liiketunnistimet.pdf> (21.4.2011).
- [7] Hämäläinen Pertti: Turvallista kuuluvuutta, Tietokone – lehti 9/2004.
- [8] <http://chemistry.about.com/> (24.4.2011).
- [9] <http://computer.howstuffworks.com/vdsl2.htm> (25.4.2011).
- [10] <http://contour.com/camera> (23.4.2011).
- [11] <http://defense-update.com/products/b/BSA-UGS.htm> (30.3.2011).
- [12] <http://eca.knmi.nl/dailydata/customquery.php> (3.3.2011). Type of series= "blend", Country = "Finland", Location="pick a station, or skip...", Element= "Minimum temperature" ja "Maximum temperature", Additional selection criteria: Period = "subset: 1976-2010", Elevation = "All heights".
- [13] http://en.wikipedia.org/wiki/Bit_rate (31.1.2011).
- [14] <http://fi.wikipedia.org/wiki/%C3%84%C3%A4nenpaine> (24.4.2011).
- [15] <http://fi.wikipedia.org/wiki/Anturi> (23.12.2010).
- [16] <http://fi.wikipedia.org/wiki/Kastepiste> (3.3.2011).
- [17] <http://fi.wikipedia.org/wiki/Mikrofoni> (24.4.2011).

- [18] <http://fi.wikipedia.org/wiki/SHDSL> (31.1.2011).
- [19] <http://fi.wikipedia.org/wiki/Tiedonsiirtonopeus> (25.4.2011).
- [20] <http://home.howstuffworks.com/home-improvement/household-safety/fire/smoke5.htm> (24.4.2011).
- [21] <http://ilmatieteenlaitos.fi> (13.1.2010).
- [22] <http://ilmatieteenlaitos.fi/sade> (10.3.2011).
- [23] <http://matwww.ee.tut.fi/> (25.4.2011).
- [24] <http://products.boschsecurity.fi/en/FI/products/> (21.4.2011).
- [25] <http://rf-links.com/newsite/index.html> (23.4.2011).
- [26] <http://rri-seismic.com/Frame%20Pages/Tech%20Pages/Seismic/seismic.htm> (23.4.2011).
- [27] <http://store.diydrones.com/> (23.4.2011).
- [28] <http://uk.eye.fi/products/> (25.4.2011).
- [29] <http://www.alsecuritycameras.com/Microphones.html> (24.4.2011).
- [30] <http://www.aarnikamera.com/> (22.4.2011). Suomalaisvalmisteinen riista- ja valvontakamera.
- [31] <http://www.agripalvelu.fi/shop/> (28.9.2011).
- [32] <http://www.airforce-technology.com/projects/camcopters-100uav> (19.4.2011).
- [33] <http://www.astro.utu.fi/zubi/atphenom/twi2.htm> (22.12.2010).
- [34] http://www.axis.com/files/datasheet/ds_q1910_combo_41970_en_1103_lo.pdf (24.4.2011).
- [35] <http://www.cctvcamerapros.com/> (24.4.2011).
- [36] <http://www.connect.fi/tuotteet/Radiopuhelimet/> (25.4.2011).
- [37] http://www.digimesta.com/lahettavat_riistakamerat_cat_504.html (24.9.2010 ja 21.4.2011).
- [38] <http://www.discover-energy.com/downloads> (3.3.2011). http://www.discover-energy.com/files/shared/Discover_temperature_effects_charging.pdf.
- [39] <http://www.draganfly.com/> (23.4.2011).
- [40] <http://www.ehow.com/> (18.2.2011).

- [41] <http://www.electromax.com/penmics.html> (24.4.2011).
- [42] <http://www.elokuvaopas.com/sanasto> (21.4.2011).
- [43] <http://www.engzet.com/> (25.4.2011).
- [44] <http://www.esylux.com/fi/> (24.4.2011).
- [45] <http://www.eudict.com> (21.4.2011).
- [46] <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/ugs.htm> (22.2.2011).
- [47] <http://www.ipcmax.com/> (22.2.2011).
- [48] <http://www.kotek.fi/sivu.php?page=71> Kodintekniikka-alan tiedotusfoorumi (1.3.2011).
- [49] <http://www.kotiakustiikka.fi/akustiikkasanasto.html> (24.4.2011).
- [50] <http://www.ksh-valvonta.fi> (22.2.2011).
- [51] <http://www.magneticsensors.com/vehicle-detection-solutions.php> (20.4.2011).
- [52] <http://www.midlandradio.com/> (23.4.2011).
- [53] <http://www.moisio.net/taivas/aurinko.php> (25.9.2010).
- [54] <http://www.pelastustoimi.fi/turvatietao/hakavaroitin/> (24.4.2011).
- [55] <http://www.prc68.com/I/PSR1.shtml> (23.4.2011).
- [56] <http://www.rctoys.com/rc-products/DF-EYECAM-NTSC.html> (23.4.2011).
- [57] <http://www.riistakamera.com/tuotteet/riistakamerat/> (25.9.2010).
- [58] <http://www.shdsl.com/> (25.4.2011).
- [59] <http://www.spyville.com/wireless.html> (23.4.2011).
- [60] <http://www.surveillance-video.com/> (22.2.2011).
- [61] <http://www.teleputiikki.fi/> (23.4.2011).
- [62] http://www.tkk.fi/fi/Huoneakustiikan_luentomoniste_2006 (24.4.2011).
<http://www.google.fi/url?sa=t&source=web&cd=8&ved=0CFEQFjAH&url=http%3A%2F%2Fwww.tkk.fi%2Ffyksikot%2FTalo%2Fopetus%2Frrtp%2F2006%2Fluennot%2Fluentomateriaali%2FAKUSTIIKKA.pdf&rct=j&q=%C3%A4%C3%A4nen%20vaimeneminen%20ilmassa&ei=hRi0TZ7KH0WAOaNPZoJ&usg=AFQjCNGFm9cAVcastuuKnz8cFDFYmZXeRA>
- [63] <http://www.tukes.fi/fi/Kuluttajille/Koti-ja-kodin-tekniikka/Hakavaroitin/> (24.4.2011).
- [64] <http://www.vehicle-tracking-usa.com/store> (24.4.2011).
- [65] <http://www.videotransmitters.com/> (25.4.2011).

- [66] <http://www.viestintavirasto.fi/index/radiolaitteet/> (25.4.2011).
- [67] <http://www.xtralis.com> (21.4.2011).
- [68] <http://www.yepnet.fi/Langaton-433M-Savuhaelytin> (24.4.2011).
- [69] http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/aihiot/fi/fysiikka/aani_melu/ear_5/5.htm (24.4.2011).
- [70] International Electrotechnical Commission standardi numero 60529 (IEC 60529).
- [71] Kari, Mikko, Hakala, Arto, Pääkkönen, Elisa ja Pitkänen, Markku (toim.): Sotatekninen arvio ja ennuste 2025 (STAE 2025), Osa 1 Teknologian kehitys, Puolustusvoimien Teknillinen Tutkimuslaitos, Julkaisuja 14, Edita Prima Oy, Helsinki, 2008.
- [72] Kenttäohjesääntö, yleinen osa, Edita Prima Oy, Helsinki, 2007.
- [73] KMZ10A Magnetic field sensor datasheet. 1998 Mar 24.
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/KMZ10.pdf> (26.4.2011)
- [74] Kosola, Jyri ja Solante, Tero: Digitaalinen taistelukenttä, 2. painos, MPKK STEKNL:n julkaisusarja 1 n:o 13, 2. painos, Edita Prima Oy, Helsinki, 2003.
- [75] Lampinen, Petteri (kapt). Esiupseerikurssin tutkielma E 3517 ”Taistelukentän optiset olosuhteet”. Helsinki. Maanpuolustuskorkeakoulu, 2001.
- [76] Majuri, Petri (kapt). Esiupseerikurssin tutkielma E 3924 ”Sensorien käyttö taistelukentän valvonnassa”. Helsinki. Maanpuolustuskorkeakoulu, 2009.
- [77] Musial, Marek: System Architecture of Small Autonomous UAVs, VDM Verlag Dr. Müller Aktiengesellschaft & Co, Saarbrücken, 2008.
- [78] PathFindIR autolämpökameran esite.
http://www.highwaysafety.us/files/PathFindIR_brochure.pdf (24.4.2011).
- [79] Pekka Sallinen: Kameravalvontaopas, Turva-alan yrittäjät ry, 2011. http://www.turva-alanyrittajat.fi/doc/kameravalvonta/KAMERAVALVONTAOPAS_2010.pdf.
- [80] Pengelley, Rupert: The art Of detection: UGS systems make a quantum leap on reliability and utility, Janes’ s international defence review, Syyskuu 01, 2006,
https://www.milnet.fi/search.janes.com/Search/documentView.do?docId=/content1/janesdata/mags/idr/history/idr2006/idr10013.htm@current&pageSelected=allJanes&keyword=UGS&backPath=https://www.milnet.fi/search.janes.com/Search&Prod_Name=IDR& (22.2.2011).
- [81] Puolustusvoimien määritelmärekisteri, PVAH-järjestelmä.

- [82] Selin, Irina: Maatilapalovaroitintutkimus 2006 – 2007 Hyvinkään MTT-sikataloudessa. Tutkimusraportti Hyvinkää, 2007.
- [83] Suomen turvallisuus- ja puolustuspolitiikka 2009, Valtioneuvoston selonteko, <http://www.valtioneuvosto.fi/tiedostot/julkinen/pdf/2009/turvallisuus-ja-puolustuspoliittinenselonteko/selonteko.pdf>.
- [84] U.S. patent 3,922,663 “Seismic human footstep detector” Nov 25 1975
<http://www.freepatentsonline.com/3922663.pdf> (23.4.2011).
- [85] Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005, 2005. Joint Publication 1-02 DoD Dictionary’s definition for “UAV”.